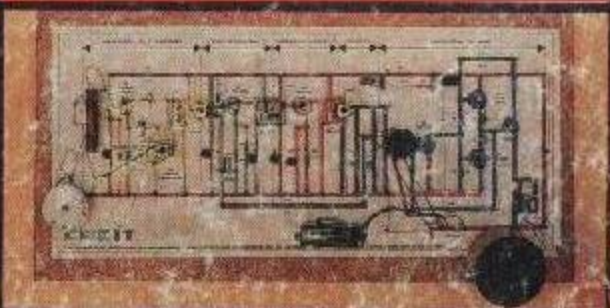




# RADIO AM●FM



## Estimado lector :

Después del rotundo éxito de "Tu futuro es la electrónica", y el "Curso práctico de ELECTRONICA DIGITAL y Circuitos integrados", CEKIT S.A. presenta una nueva obra en el campo de la electrónica, el Curso de Radio AM, FM, Banda Ciudadana y Radioafición.

En esta obra estudiaremos una rama muy importante de la electrónica, la parte que se refiere a las ondas de radio. Conoceremos qué son, cómo se producen, transmiten y reciben en un lugar remoto, los aparatos receptores, transmisores y sus componentes.

De esta manera entraremos en el campo de la radio, las comunicaciones y la radioafición, uno de los hobbies o pasatiempos más difundidos en todo el mundo y que no sólo ha tenido una gran influencia en el desarrollo técnico y científico de la electrónica, sino que ha colaborado exitosamente con el hombre en momentos de grandes dificultades.

Con este curso se pueden complementar y profundizar los conocimientos adquiridos con la obra anterior, pero también está diseñado para que se pueda tomar como un curso de iniciación sin que para hacerlo se requiera de ningún curso anterior.

De esta manera es también el curso ideal para aquellas personas que se quieran iniciar en el maravilloso mundo de la electrónica, la radio y la radioafición. ¿Quién, en algún momento, no ha sentido deseos de armar su propio radio o su propio transmisor, así las señales no lleguen muy lejos?

El curso de Radio AM, FM, Banda Ciudadana y Radioafición es una obra amena, clara, concisa y sencilla, tratada con un lenguaje comprensible y agradable, con muchas ilustraciones y ejemplos que ayudan a asimilar los conceptos teóricos y prácticos tratados.

Todas las leyes y teorías son explicadas en párrafos cortos, fáciles de leer y entender, apoyadas por medio de ejemplos y comparaciones sencillas, mostradas de una manera muy clara, sin caer en la simplicidad o superficialidad.

El estudio de la teoría y práctica de la radio es muy importante dentro de la electrónica en general, ya que si nos remontamos a los orígenes de la electrónica descubrimos que todo empezó con los primeros experimentos acerca de las ondas de radio u ondas electromagnéticas. Los pioneros de estos descubrimientos buscaron la forma de transmitir una onda o señal de un sitio a otro, sin necesidad de tener alambres conectados entre las dos estaciones.

Es entonces el conocimiento de estos principios lo que ha llevado a esta ciencia y tecnología hasta el lugar que ocupa actualmente, en donde casi ninguna actividad humana está libre de utilizar los aparatos electrónicos con el fin de que se pueda realizar mejor.

La importancia de la radio en la historia es muy grande, ya que originó después de su descubrimiento, una verdadera revolución de las comunicaciones entre los hombres. Después de ella, éstas no han sido las mismas.

Los principios de transmisión y recepción de las ondas de radio, utilizados inicialmente para transmitir la voz, luego la música y por último la televisión con sus imágenes a todo color desde y hasta cualquier lugar del mundo, han acercado a los hombres de tal manera que ya nadie es ajeno a los acontecimientos de todo el planeta.



Los grandes avances tecnológicos, como los viajes espaciales y muchos otros, han dependido en gran parte del desarrollo en las comunicaciones. La radio además de llevar información, también ha contribuido al esparcimiento y entretenimiento del hombre, irradiando música y cultura de todo tipo, que se puede seleccionar fácilmente, de acuerdo a las preferencias, moviendo un simple botón.

La masificación de la industria electrónica, con la llegada del transistor y los circuitos integrados, ha permitido la fabricación de miles de millones de receptores de radio a precios muy bajos, lo que hace casi imposible que alguna persona no tenga un radioreceptor disponible para su utilización diaria y permanente. Diríamos sin temor a equivocarnos que el radio es el aparato electrónico más numeroso sobre la tierra.

Es entonces muy importante para los aficionados y las personas dedicadas a la electrónica como profesión, conocer qué es un radio, cómo está fabricado, cómo funciona, cómo podemos ensamblarlo nosotros mismos y cómo podemos repararlo cuando se daña.

El curso tendrá como característica principal la metodología teórico-práctica en donde se irán tratando los temas y principios teóricos de una manera muy sencilla pero profunda a la vez, y se van complementando con las prácticas de ensamble de un radioreceptor transistorizado de alta calidad que, al final del curso, quedará completamente armado y funcionando y que usted exhibirá orgulloso como una de sus grandes realizaciones.

Inicialmente en el curso haremos una introducción general al tema de la radio y sus características principales. Luego haremos un repaso de su historia, un tema fascinante y muy agradable lleno de anécdotas, sueños y decepciones. La lucha de los pioneros fue grande, casi todos pasaban por locos y nadie creía en sus ideas o teorías.

Después conoceremos el tema de las ondas electromagnéticas en sus aspectos generales para ver cómo se aplican en la teoría de la radio. Con el estudio de las ondas pasamos a ver cómo se transmite una señal sonora de un punto a otro, tan distante como se quiera, analizando en palabras comunes el proceso de transmisión y recepción de señales de radio.

Una vez que conozcamos los aspectos generales de la teoría que se va a estudiar, entramos en materia con las lecciones del curso, que se van presentando en forma sencilla y muy didáctica.

Es necesario primero conocer los aspectos fundamentales de la estructura interna de la materia que nos rodea, con el fin de entender de dónde sale la corriente eléctrica y para ello estudiamos las propiedades y constitución de la materia, tocando el tema de las moléculas, los átomos y los electrones.

El conocimiento de la materia es muy importante para entender muchos fenómenos, que se producen en los diferentes materiales que se utilizan para fabricar los componentes electrónicos, que a su vez, se utilizan en todos los aparatos electrónicos que se van a estudiar en este curso.

Una vez conocida la materia y los electrones, veremos cómo se produce una corriente eléctrica, veremos cómo hay varios tipos de corrientes y cómo se aplican en los diferentes circuitos para hacerlos funcionar correctamente.



Después estudiaremos cuáles son los componentes básicos y los diferentes tipos que se utilizan para formar los aparatos de radio y comunicaciones, que son el tema central del curso.

Iremos conociendo primero los componentes más sencillos, llamados "componentes pasivos," como son las resistencias, los condensadores y las bobinas; para luego pasar a los componentes llamados "componentes activos," que son los que realizan los trabajos más importantes en los circuitos y aparatos electrónicos, como son los diodos, los transistores y los circuitos integrados.

Pero como un componente solo no realiza ningún trabajo real, se estudia la forma como en la electrónica se unen dos o más componentes para formar un circuito y según las conexiones se forman circuitos diferentes. Además estudiaremos cómo, uniendo varios circuitos, se forma un aparato completo; en este caso veremos cómo está compuesto un radio de AM; o un radio de FM o frecuencia modulada; y cómo se construye y funciona un transmisor de radio, y, además, cómo opera una emisora de radio en sus diferentes funciones.

Simultáneamente con las lecciones teóricas se irán desarrollando las actividades de práctica, que consisten fundamentalmente en las instrucciones detalladas y muy ilustradas para ensamblar un radio completo y superdidáctico de AM con seis transistores. Esto es lo que hace realmente diferente este curso. A medida que se va estudiando la teoría vamos practicando y comprobando que lo que se ha conocido es verdad y realmente funciona.

Este radio se va armando por etapas, que están claramente definidas en cuanto a los componentes que la forman y a su función específica dentro del aparato total de radio. Así veremos cómo llega una determinada señal a la antena, cómo se separa de las otras señales y cómo se amplifica hasta quedar convertida, casi inmediatamente, en una señal sonora igual a la que se había originado en una distante emisora.

Para armar el radio se entregan varias láminas o ilustraciones con toda la información para guiar al alumno sobre la forma de ensamblar correctamente cada etapa y de cómo distinguir fácilmente los componentes para su correcta instalación. Para estas prácticas solamente se requieren unas pocas y económicas herramientas, que además le serán de gran utilidad al experimentador y al aficionado para continuar con su afición o trabajo en una forma mucho más eficiente.

Dentro del curso aprenderemos a fabricar algunos instrumentos muy útiles en el ajuste y reparación de todo tipo de radios y otros aparatos electrónicos, relacionados con el tema, para lo cual se entrega una sección dedicada a esta labor.

Estamos seguros que al final de este curso estará muy satisfecho ya que habrá aprendido muchas cosas que le aumentarán su cultura electrónica y que le serán útiles en sus momentos de esparcimiento o trabajo en esta rama de la electrónica, la radio y la radioafición.



# Aspectos básicos de la teoría de Radio

## Qué es la radio o el radio

La palabra radio se utiliza para diferentes cosas: En química para referirse a un elemento que es radioactivo o sea que emite radiaciones; en geometría radio se refiere a una línea que une el centro del círculo con un punto de su circunferencia; también existe en el cuerpo humano un hueso del brazo llamado radio.

En electrónica, que es lo que nos interesa, el término radio se utiliza como una abreviatura para radiocomunicación y se refiere principalmente a la técnica tanto teórica como práctica y a los aparatos que nos permiten enviar y escuchar mensajes, música o información en general de un sitio a otro, y ya sea lejano o cercano.

## Radiocomunicación

Radiocomunicación es la transmisión por medio de un proceso radioeléctrico o de ondas electromagnéticas, de textos, signos, imágenes o sonidos de toda naturaleza de un lugar a otro.

Antes de entrar a explicar cómo se produce una radiocomunicación, vamos a estudiar qué es la radiación y qué son las ondas, pues debemos tener estos conocimientos básicos para lograr entender cómo opera este proceso.

## Radiación y ondas

Cuando estamos cerca de una llama, no sólo la vemos sino que sentimos el calor que produce. Ese calor es la energía que se genera en la combustión y se llama energía calorífica. La energía que nos permite ver las cosas se llama luz visible.

La propagación o transmisión del sonido se efectúa en forma de una energía invisible pero que se puede sentir.

Estos fenómenos y muchos otros corresponden a formas de radiación de energía que se realiza por medio de ondas. La palabra onda se refiere a algo que sube y baja alternadamente y está relacionada con el movimiento.

Para entender más fácilmente qué es una onda vamos a traer dos ejemplos muy comunes y que se presentan en la vida diaria.

El primer ejemplo es el de las "ondas" u ondulaciones que se producen en la superficie de un lago cuando arrojamos en él una piedra, figura 1.



Podrá observarse que a partir del punto en que cayó la misma y sobre la superficie del elemento líquido comienzan a formarse una gran cantidad de ondas concéntricas que, aparentemente, se van alejando del punto en que cayó la piedra y terminan por desvanecerse a la distancia, una vez extinguida la energía que las originó.

Pareciera que el agua se traslada y que al hacerlo se lleva consigo las ondas; mas en realidad no es así. Prueba de ello es que si ubicamos sobre las ondulaciones un objeto flotante, como una pelota pequeña notaremos que él mismo asciende y desciende sobre las ondas, pero que no se aleja del lugar en que ha sido puesto, tal como da la impresión que lo hicieran ellas.

Queda así comprobado que la masa de agua no se desplaza y que sólo asciende o desciende con respecto a su nivel normal. Como resultado de esta observación cabe deducir que lo que en realidad se desplaza no es otra cosa que "energía".



Lo mismo que ocurre con las ondas de energía que se desplazan en el agua, provocando ondas, ocurre también con las ondas sonoras, con la diferencia que éstas se trasladan de un lugar a otro a través del aire.

Al pulsar una cuerda de guitarra, ella vibra con rapidez y se desplaza hacia uno y otro lado; al hacerlo comprime o empuja el aire o las moléculas del mismo durante todo el tiempo que tarda la vibración u oscilación de la cuerda en extinguirse. (figura 2).



Pese a la pequeñez de la oscilación de la cuerda, la presión originada por su desplazamiento se traslada o propaga bajo la forma de ondas de aire, tal cual ocurre en el agua con las ondas de energía originadas por la caída de la piedra.

Las variaciones descritas respecto a la presión del aire, al llegar a nuestros oídos, provocan idénticas vibraciones en los tímpanos, dándonos una sensación que llamamos sonido, por lo tanto las ondas sonoras no las podemos ver sino oír o sentir.

### Características de las ondas

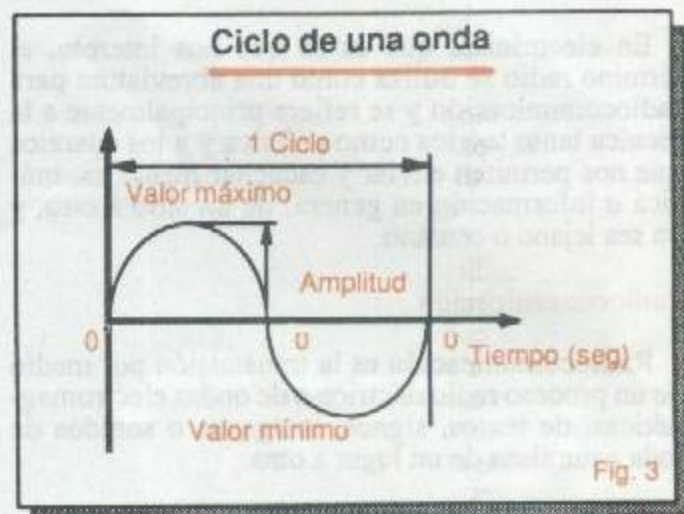
Existen diferentes tipos de ondas según su naturaleza y características lo que hace que tengan manifestaciones distintas en cada caso.

El sonido, la luz, el calor, los rayos X y las ondas de radio son todas ondas. Pero por qué unas ondas las podemos sentir y son invisibles y otras las podemos ver pero no sentir?. Y por qué unas ondas pueden viajar miles o millones de kilómetros y otras sólo se pueden enviar unos cuantos metros más adelante?

Todo esto se puede explicar conociendo las características de cada una de ellas. Las principales características de una onda son su *frecuencia*, su tamaño o *amplitud de onda* y su forma.

### Frecuencia

Denominamos frecuencia de una onda la *cantidad de veces* que se produce el fenómeno completo de irradiación en un segundo. Llamamos fenómeno completo a la acción de una onda cuando parte de cero, toma su valor máximo, va a su valor mínimo y luego vuelve a cero. Esto se llama también un *ciclo*. (figura 3).



Es así como la *frecuencia* de una onda se mide en *ciclos por segundo*.

La *amplitud* de la onda es la distancia o tamaño existente entre el valor estable o cero y el punto máximo de vibración que alcanza la onda.

Dependiendo de la frecuencia y de la amplitud que tenga una onda se puede oír, ver o puede viajar distancias muy grandes desde su sitio de origen o creación.

Las ondas sonoras o sonidos se encuentran entre las frecuencias de 20 a 20.000 ciclos por segundo. Esto se debe a que el oído humano está hecho para que responda a ese tipo de ondas o señales. A un grupo de frecuencias que tienen un límite bajo y uno alto se le llama una *banda*.

En cuanto a la *amplitud* de una onda sonora se relaciona con la que llamamos *volumen* o intensidad de sonido. Mientras más amplitud tenga un sonido, más fuerte escuchamos su efecto en nuestros oídos. Si un sonido tiene una amplitud muy baja no podemos escucharlo ya que los tímpanos no alcanzan a vibrar con ese débil estímulo.



Si la frecuencia de una onda sonora se pasa de 20.000 ciclos por segundo ya no podemos escuchar ese sonido y a ese tipo de onda se les llama *ultrasonidos*. Algunos animales, como el perro, tienen la capacidad de escuchar los ultrasonidos.

Otro tipo de ondas con las cuales estamos en contacto permanente son las ondas luminosas o radiación visible. Las ondas luminosas tienen una frecuencia muy alta y hay diferentes tipos o bandas según esta frecuencia.

La luz de más baja frecuencia es llamada *infraroja* y la de más alta frecuencia es la *ultravioleta*. Entre la luz infraroja y la luz ultravioleta tenemos la banda de la luz visible formada por los diferentes colores o frecuencias. Así el rojo tiene la frecuencia más baja dentro de la banda de la luz.

Podemos "ver" estas ondas porque el ojo humano está hecho de tal manera que pueda captar este tipo de radiaciones.

Después de estas ondas tenemos los *rayos X*, los *rayos gamma* y los *rayos cósmicos*. Como todos sabemos los rayos X se utilizan para tomar radiografías o fotografías de la parte interna del cuerpo humano.

Entre las ondas sonoras o sonidos y las ondas luminosas tenemos un grupo de ondas que es el que nos interesa para este curso y que se llaman *ondas de radio*. Las ondas de radio empiezan más o menos desde los 30.000 ciclos por segundo y llegan hasta los 300.000 millones de ciclos por segundo.

Las ondas sonoras sólo pueden viajar algunos metros debido a que el aire va absorbiendo su energía y al final ésta desaparece totalmente.

Las ondas de radio tienen la característica muy especial de que pueden viajar grandes distancias sin perder su energía y al descubrirlas el hombre encontró la mejor manera para poder comunicarse de un sitio a otro fácilmente.

Antes de descubrir y aplicar las ondas de radio, se utilizaban las transmisiones por teléfono y telégrafo con hilos en donde los dos lugares a comunicar tenían que estar unidos por medio de cables eléctricos para transportar la señal.

## Ondas electromagnéticas

Hay una diferencia muy importante entre las ondas sonoras, las ondas de radio y la luz. Esta diferencia se refiere no sólo a su frecuencia sino a

su comportamiento, la forma en que se generan o producen y el medio de propagación.

Las ondas sonoras se producen por medios mecánicos o sea por vibración de algún elemento físico; además este tipo de ondas necesitan de un medio de propagación que en este caso es el aire. En el vacío no podemos transmitir o escuchar ningún sonido.

Cuando por algún medio se hacen vibrar los electrones de un átomo, la vibración es transmitida en cadena a los otros átomos, produciéndose una transmisión de vibraciones de un lugar a otro; a este fenómeno se le conoce con el nombre de "onda electromagnética".

La palabra electromagnética se refiere a que este fenómeno tiene una parte eléctrica y otra magnética. Las ondas de radio y la luz tienen naturaleza electromagnética y para las dos se aplican muchas leyes y principios similares.

Entre los años 1865 a 1870 el gran físico inglés James Clerk Maxwell afirmó después de muchos estudios teóricos y matemáticos que las ondas producidas por oscilaciones eléctricas de frecuencia muy elevada se podían propagar por el espacio.

Maxwell, así mismo afirmó que la luz también tenía la misma naturaleza de las ondas eléctricas y magnéticas y a partir de ese momento se estableció el término *electromagnético*. Maxwell estableció que estas ondas electromagnéticas y la luz se propagan a una velocidad de 300.000 kilómetros por segundo aproximadamente.

## Nacimiento de la radio

### Breve historia de los primeros años

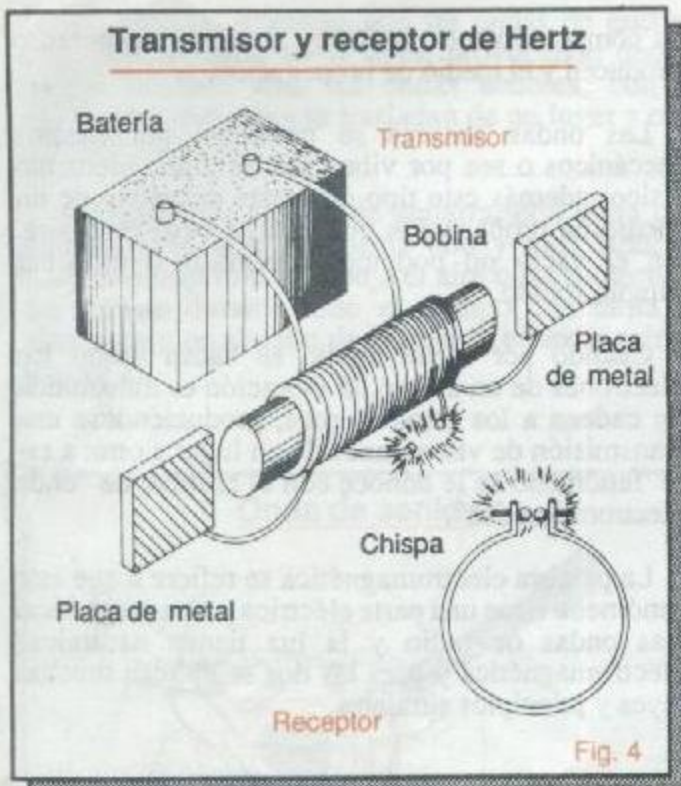
Después de las afirmaciones de Maxwell se comprobó esta teoría por medio de los experimentos realizados por el físico alemán Enrique Rodolfo Hertz en los años 1887 y 1888.

Hertz observó que si hacía que saltara una chispa a través del aire en un circuito eléctrico, saltaba otra chispa a través del aire en un segundo circuito colocado cerca, pero que no estaba en contacto con el primero. (figura 4).

Por lo tanto, se había transmitido energía en alguna forma misteriosa a través del espacio y en ese momento crucial para el hombre había nacido la radiocomunicación por medio de ondas electromag-



## Transmisor y receptor de Hertz



néticas que tanto le ha servido para su desarrollo y progreso.

Durante mucho tiempo estas ondas de energía producidas por Hertz fueron conocidas como ondas Hertzianas y actualmente se les llama ondas de radio.

En honor a Hertz y a su descubrimiento se ha asignado el nombre de *Hertzio* (Hz) para la unidad de medida de la frecuencia, en cambio de ciclos por segundo. Por lo tanto, para una determinada señal se puede decir que tiene una frecuencia de 100.000 *Hertzios* por ejemplo.

Después del descubrimiento de Hertz fué el italiano Guglielmo Marconi, nacido en Bologna en el año 1874, quien continuó trabajando en el desarrollo de las radiocomunicaciones hasta lograr avances muy significativos.

Marconi se interesó en el fenómeno de la radiación electromagnética al asistir a varias conferencias del profesor Augusto Righi, autoridad de la materia en esa época en Italia y a los 20 años ya había leído mucho sobre el tema. El momento definitivo en la vida de Marconi fué cuando leyó sobre el descubrimiento de Hertz.

Inmediatamente quedó sumergido en la idea de trabajar en ese mismo tipo de experimentos.

El empezó fabricando un aparato similar al de Hertz y después de muchos intentos fallidos tuvo

éxito y logró tener un aparato que produce una chispa más grande cada vez y a mayor distancia en el receptor.

Uno de los primeros avances significativos y originales de Marconi fué la invención de la antena hecha por medio de una placa metálica suspendida en un mástil y el otro terminal del transmisor conectado a la tierra. En el receptor la disposición era la misma, una placa metálica elevada y el otro terminal del receptor conectado a la tierra.

La distancia lograda con este método fué mucho mayor y Marconi tuvo que sacar sus aparatos fuera de su laboratorio a campo abierto para continuar con sus experimentos.

Marconi logró por medio de mucho trabajo y experimentación transmitir señales en clave o código Morse, utilizado en telegrafía, enviando puntos y rayas que logró imprimir en un papel en el receptor que estaba ahora a una distancia de una milla en el año de 1895.

En ese año Marconi le ofreció su invento al Ministerio Italiano de Correos y Telégrafos que lo rechazó por no considerarlo de utilidad. El se estableció entonces en Inglaterra durante un tiempo al tener allí familiares y mostrarse algún interés por parte de algunas entidades oficiales de ese país y mejorando los equipos logró comunicaciones hasta de ocho millas.

Después Marconi desarrolló y patentó en el año de 1900 el sistema de selección de frecuencias, tanto de transmisión como de recepción por medio de los circuitos resonantes, lo que permitió la escogencia de diferentes transmisiones en el mismo receptor, lo que evitaba la interferencia con otras señales. Este fué uno de los avances definitivos y más importantes en el desarrollo de las radiocomunicaciones.

En 1901 Marconi se propuso transmitir señales de radio a través del Océano Atlántico y luego de muchas dificultades e intentos fallidos logró transmitir varias veces la letra S en código Morse (La letra S en el código Morse está formada por tres puntos ...)

El intento empezó el 9 de Diciembre y finalmente se logró la primera recepción de la señal el 12 de Diciembre a la 12:30 PM a una distancia de 2000 millas aproximadamente.

La maravilla de las comunicaciones a larga distancia sin alambres era una realidad y nadie se imaginaba en ese momento hasta donde se iría a llegar con el avance de la radio y luego de la electrónica.



# Las ondas de radio

Las ondas descubiertas por Hertz y experimentadas por Marconi son por lo tanto ondas electromagnéticas *irradiadas* desde la antena de un transmisor. Como las ondas de radio no utilizan ningún medio para desplazarse, su pérdida de energía es sumamente pequeña y pueden recorrer distancias muy grandes.

Las ondas de radio pueden atravesar obstáculos sólidos como paredes, muros, vidrios, etc y pueden llevar información como voz, música e imágenes como en el caso de la televisión.

Las ondas de radio están comprendidas entre las frecuencias de 30KHz y 300 GHz (30 Kilohertzios y 300 Gigahertzios) y a su vez se han dividido en diferentes *bandas* o grupos según su frecuencia.

A estas bandas se les ha dado un nombre y tienen diferentes aplicaciones ya que su comportamiento es diferente. En la tabla 1 tenemos estas bandas con sus frecuencias, símbolo y nombre.

**Espectro de las radiofrecuencias**

Nombre	Símbolo	Frecuencia
Baja frecuencia	BF (LF)	30 ~ 300KHz
Media frecuencia	MF	300 ~ 3MHz
Frecuencia elevada	FE (HF)	3 ~ 30MHz
Frecuencia muy elevada	FME (VHF)	30 ~ 300MHz
Frecuencia ultra-elevada	FUE (UHF)	300 ~ 3GHz
Frecuencia super-elevada	FSE (SHF)	3 ~ 30GHz
Frecuencia extremadamente elevada	FEE (EHF)	30 ~ 300GHz

Tabla 1

## Longitud de onda

A menudo se refiere a las ondas de radio no por su frecuencia en Hertzios sino por su *longitud de onda* medida en metros, centímetros o milímetros según sea el caso.

La longitud de onda es el espacio recorrido durante la realización completa del ciclo de la onda electroimagnética, figura 5.

## Longitud de onda



Fig. 5

La longitud de onda, que se indica con la letra  $\lambda$  (lambda), se obtiene dividiendo la velocidad de propagación que es de 300.000.000 metros por segundo por la frecuencia en Hertzios de la señal.

$$\lambda = \frac{300.000.000}{F \text{ (Hz)}}$$

Por ejemplo para una señal de radio de 3MHz o 3.000.000 de Hertzios tenemos:

$$\lambda = \frac{300.000.000}{3.000.000} = 100 \text{ Metros}$$

A medida que aumenta la frecuencia disminuye la longitud de onda y se pueden tener ondas con longitudes de onda desde metros hasta milímetros.

El tamaño de las antenas depende de la longitud de onda de la señal que van a transmitir o a recibir.

Tomando la longitud de onda se mencionan comunmente las bandas de radio. Por ejemplo, la banda en onda corta de 49 metros, la banda de 11 metros o banda ciudadana para radioteléfonos, la banda de 2 metros para radioaficionados, etc.

## Tipos de ondas de radio

Según su frecuencia o longitud de onda las señales de radio se comportan en forma diferente. En cuanto a su propagación o forma de viajar se refiere, los principales tipos son: ondas terrestres, ondas directas y las ondas espaciales o reflejadas.



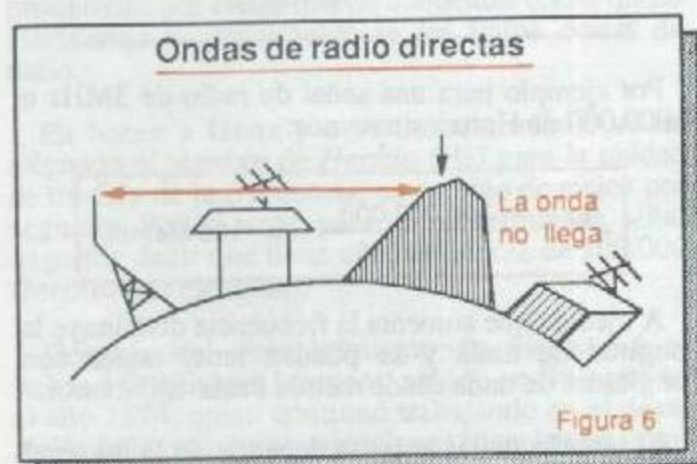
## Ondas terrestres

Este tipo de ondas viaja alrededor de la superficie curva de la tierra sin penetrar en la atmósfera; siempre hay contacto con la superficie, lo que crea flujos de corriente que atenúan la onda hasta desaparecerla. Por esta razón este tipo de onda es de corto alcance. Las ondas de las estaciones de radio locales de AM o amplitud modulada con frecuencias entre 500 y 1.500 KHz se comportan en forma de ondas terrestres.

## Ondas directas ( Alcance visible )

Son un tipo de ondas que viajan en línea recta si no existe ningún obstáculo entre el emisor y el transmisor, en este caso la onda no toca el terreno ni la atmósfera. Las ondas de radio de frecuencia muy alta y de frecuencia ultra alta ( VHF y UHF ) se transmiten siempre en forma de ondas directas.

Este tipo de radiación se utiliza principalmente en las transmisiones de televisión, emisoras de FM (frecuencia modulada), radioteléfonos para servicios públicos y radioaficionados y transmisiones por satélite. Su alcance está limitado por la topografía del terreno y por la altura entre las dos antenas, la transmisora y la receptora. (figura 6).



## Ondas espaciales o reflejadas

En la atmósfera existe una capa ionizada compuesta por gases conocida con el nombre de ionosfera. Esta capa refleja las ondas de radio de ciertas frecuencias.

Debido a que una antena transmisora irradia ondas electromagnéticas en todas las direcciones, algunas se elevan y chocan contra la ionosfera, siendo reflejadas de nuevo a la tierra. (figura 7).

De esta manera las ondas de radio pueden llegar a un sitio más lejano obteniéndose un mayor alcance.

En las horas de la noche la intensidad de las capas de la ionosfera es mayor, lo cual produce un mayor reflejo de las ondas; por esta razón podemos escuchar en la noche estaciones de radio muy lejanas.

No todas las ondas son reflejadas por la ionosfera, sólo es posible para señales dentro de un rango de frecuencias altas, conocidas también como ondas cortas. La banda de las ondas cortas se extiende desde 3 hasta 30 Mhz y tienen su principal utilización en emisoras internacionales de tipo institucional y en la comunicación entre radioaficionados, tema que estaremos tratando ampliamente en este curso.



## Transmisión y recepción

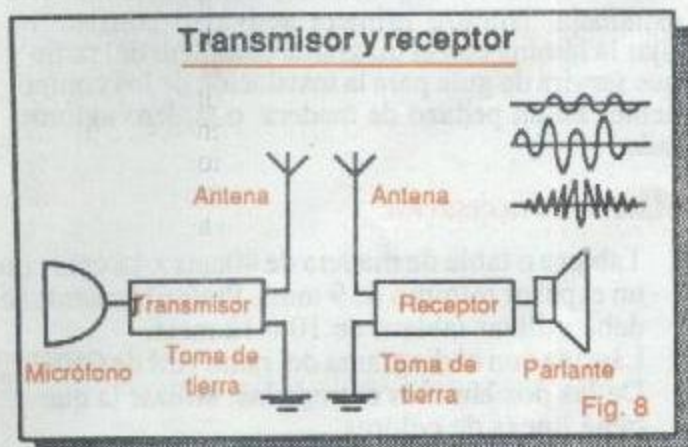
Las ondas de radio por sí solas no tienen ninguna utilidad práctica. Su descubrimiento aporta el medio o vehículo por medio del cual se podía transportar información o *inteligencia* desde un sitio a otro.

Esta información que inicialmente fué el código Morse, luego sonidos, imágenes fijas, imágenes en movimiento, datos de computador y muchos otros tipos se debe *montar* o *pegar* a las ondas de radio para que viaje con ellas. Las dos señales, una de alta frecuencia y otra de baja frecuencia forman la señal de radio completa. A la primera se le llama la *portadora* y a la segunda la *moduladora*.

El proceso de unión de las dos señales se le llama *modulación* y existen dos métodos principales para hacerlo: modulación en amplitud o AM y modulación en frecuencia o FM. Trataremos cada uno de estos sistemas ampliamente en próximas lecciones de este curso.



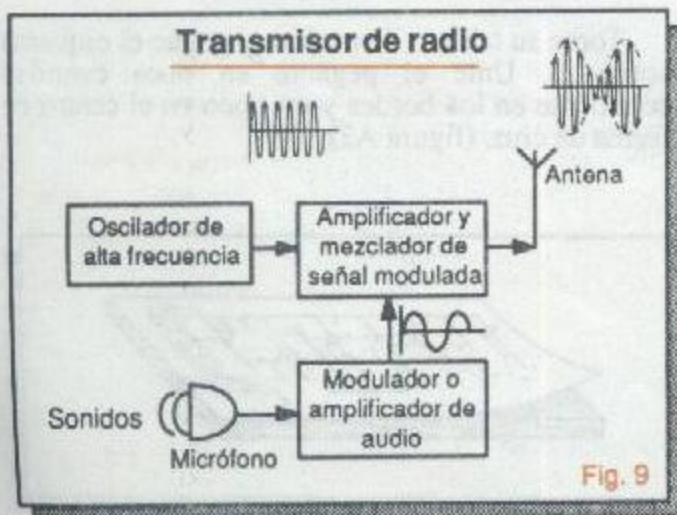
De todo lo anterior resumimos que para que haya una radiocomunicación se requiere de un transmisor que produzca las ondas de radio y un receptor que las capte. (figura 8).



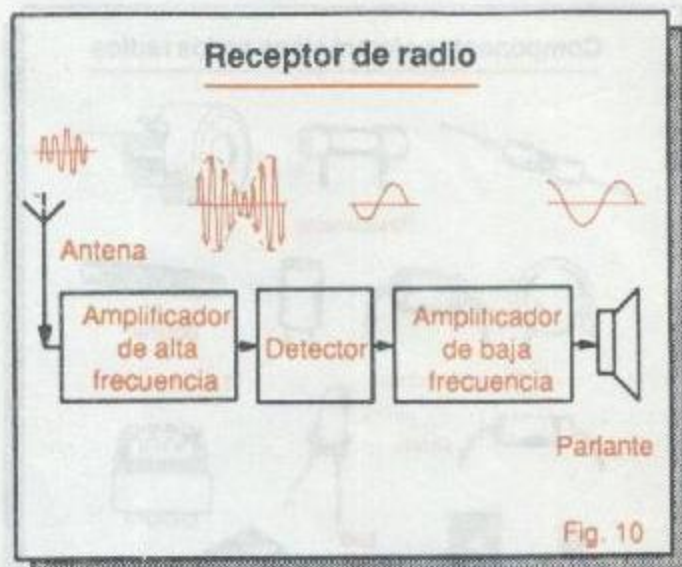
Al transmisor debe estar conectado un micrófono que recibe las ondas sonoras; allí se mezclan con las ondas de radio que salen por la antena y se propagan por el espacio. El receptor tiene otra antena que recoge esas ondas mixtas y obtiene de ellas los sonidos que deben ser una réplica lo más exacta posible a la información original.

Mirando un poco más en el interior de los bloques básicos del transmisor y del receptor de radio tenemos que cada uno tiene a su vez varios elementos fundamentales.

El transmisor tiene cinco componentes principales que son: fuente de sonido, un amplificador para esos sonidos, un oscilador o generador de señales de alta frecuencia, un modulador o mezclador con amplificador y una antena. (figura 9).



Los elementos del receptor realizan las funciones inversas al transmisor con el fin de *recuperar* la información transmitida. (figura 10).



En próximas lecciones estudiaremos cómo son los circuitos electrónicos de cada una de estas etapas, sus componentes y cómo funcionan.

### Principales componentes electrónicos utilizados en los aparatos de radio

Presentaremos en forma rápida inicialmente los componentes electrónicos que se utilizan para la construcción de los transmisores y de los receptores de radio con el fin de que el lector se vaya familiarizando con ellos.

Más adelante haremos un estudio más profundo de cada uno de ellos con sus diferentes tipos, características, modos para probarlos y toda la información indispensable para este curso.

Conectando estos componentes en configuraciones diferentes se obtienen los distintos circuitos de los aparatos de radio.

Los principales componentes utilizados en los circuitos de radio son: las resistencias, los potenciómetros o resistencias variables, los condensadores en sus tres tipos, de cerámica, electrolíticos y variables, las bobinas, los transformadores, los diodos, los transistores, los circuitos integrados, los micrófonos y los parlantes.

Podemos observar estos componentes en la figura 11.

Para citar un ejemplo sencillo mostramos en la figura 12 un circuito de un receptor muy simple



formado por muy pocos componentes. Este receptor recibe el nombre de "radio de galena" y estaremos experimentando próximamente con él.

### Componentes electrónicos en los radios



Fig. 11

### Radio de galena

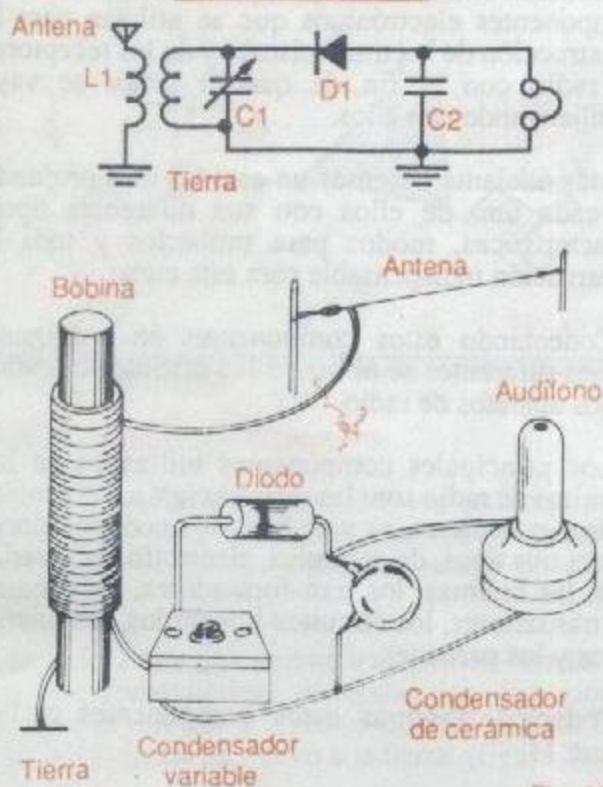


Fig. 12

## Actividad práctica Nº 1

Durante este curso de radio y comunicaciones iremos ensamblando un radio de AM con seis transistores con el fin de practicar y comprobar la teoría estudiada. Nuestra primera actividad consiste en fijar la lámina con el diagrama completo del radio y que servirá de guía para la instalación de los componentes en un pedazo de madera o tablero aglomerado.

### Materiales necesarios:

- 1 Tablero o tabla de madera de 40cms x 18 cms con un espesor mínimo de 9 mms. Preferiblemente se debe utilizar tablero de 10 o 12 mms.
  - 1 Lámina con el diagrama del radio AM de CEKIT. De las dos láminas entregadas, utilizar la que tiene líneas de colores.
- Pegante para cartón y madera que no sea demasiado líquido.

### Paso 1. Cómo preparar el diagrama

Asegúrese de que el tamaño del tablero sea igual al diagrama o plano esquemático y recorte en este último, el papel sobrante.(figura A1).

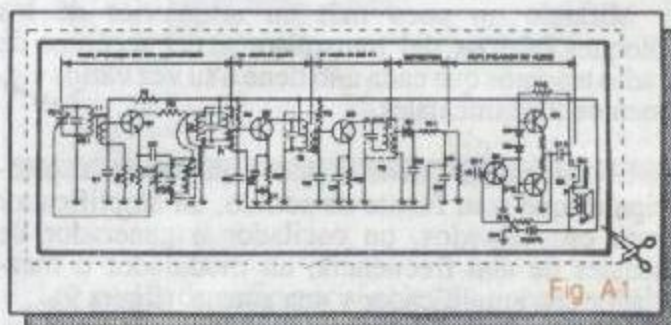


Fig. A1

### Paso 2. Pegar la lámina sobre el tablero

Tome su tablero de madera y pegue el esquema sobre él. Unte el pegante en poca cantidad solamente en los bordes y un poco en el centro en forma de cruz. (figura A2).

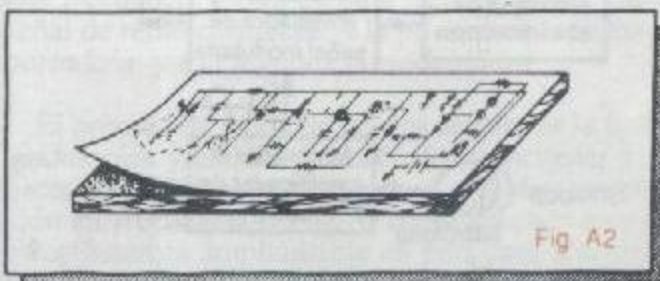


Fig. A2



## La materia y los electrones

En la introducción anterior estudiamos en forma general el fenómeno de las ondas, especialmente las ondas de radio y su aplicación en las radiocomunicaciones. Estudiamos también la estructura básica de un transmisor y de un receptor de radio, enumerando los componentes electrónicos que se utilizan en su fabricación.

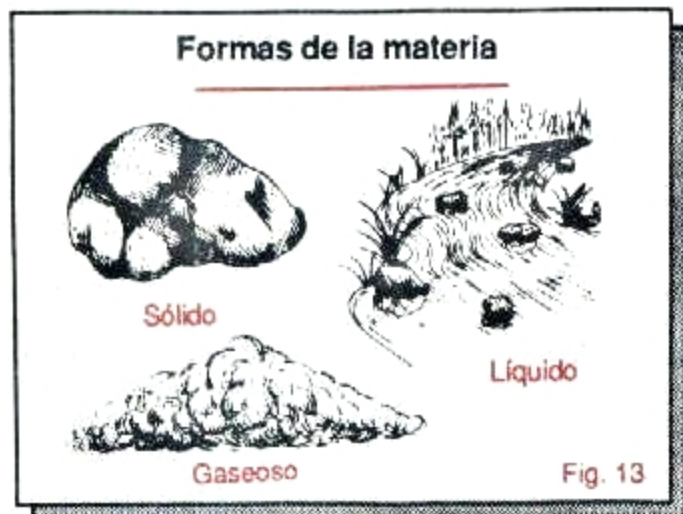
Se mencionó en esta introducción que las ondas de radio se producen al aplicar *corriente eléctrica* a un circuito, que ésta las entrega a una *antena* y que por ella salen al espacio exterior propagándose de diferentes formas según su *frecuencia*.

Antes de continuar con el estudio de la teoría de los aparatos de radio es necesario conocer qué es la corriente eléctrica, de dónde sale, cuál es su comportamiento, cuál es su forma y otros aspectos importantes, ya que ella interviene y hace posible todos los procesos de las radiocomunicaciones.

Para entender mejor qué es la corriente eléctrica o *electricidad*, debemos estudiar qué es la materia y cuál es su estructura interna.

### Qué es la materia

Todo lo que se puede ver, sentir o usar es materia. En realidad, la materia es cualquier cosa que tenga peso y que ocupe espacio. Esta puede encontrarse en forma de un sólido, un líquido o un gas. (figura 13).



Las rocas, la madera y el metal son formas de materia sólida; el agua, el alcohol, o la gasolina son

líquidos y el oxígeno, el hidrógeno y el bióxido de carbono son gases.

### Los elementos

Los elementos son la materia prima básica que constituye toda la materia y se encuentran en forma natural en la tierra. El oxígeno y el hidrógeno son elementos, lo mismo que el aluminio, el cobre, la plata, el oro y el mercurio. En efecto, existen poco más de 103 elementos conocidos, 92 de los cuales son naturales y los demás son artificiales, o hechos por el hombre.

### Los compuestos o materiales

Los elementos básicos pueden combinarse para producir materiales cuyas características son totalmente distintas de las que tienen los elementos en su estado natural. Desde luego, hay mucho más materiales que elementos.

El agua, por ejemplo, es un compuesto formado por los elementos hidrógeno y oxígeno; la sal de mesa ordinaria está formada por los elementos sodio y cloro.

Cabe anotar que el hidrógeno y el oxígeno, aunque son gases, pueden producir el agua que es un líquido.

### La molécula

La molécula es la partícula más pequeña a la que puede reducirse un material, conservando sus características propias como tal, antes de descomponerse en sus elementos básicos.

Por ejemplo, si se tomara un grano de sal de mesa y se la dividiera sucesivamente en dos, hasta obtener el trocito más pequeño posible y que siga siendo sal, este trocito sería una molécula de sal. Si logramos descomponer la molécula por algún método, desaparece la sal como tal y aparecen sus elementos básicos, el sodio y el cloro.

### El átomo

El átomo es la partícula más pequeña a la que se puede reducir un elemento, conservando las propiedades de ese elemento.

Si una gota de agua se reduce a su tamaño mínimo, se producirá una molécula de agua.



Pero si la molécula se redujera aún más, aparecerían átomos de hidrógeno y oxígeno. (figura 14).

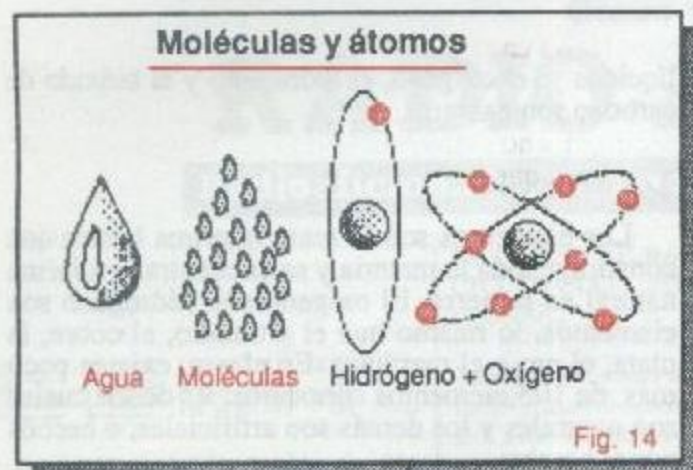


Fig. 14

## Estructura del átomo

Ahora bien, si el átomo de un elemento se divide aún más, este elemento como tal deja de existir y aparece formado por varios tipos de partículas. Estas partículas más pequeñas que el átomo y que resultan de su división, se encuentran presentes en todos los átomos de los diferentes elementos.

El átomo de un elemento difiere del átomo de otro elemento, sólo en virtud de que los dos contienen números diferentes de estas pequeñísimas partículas.

Básicamente, un átomo está formado por tres tipos de partículas subatómicas que son de interés en el estudio de la electricidad: electrones, protones y neutrones.

Los protones y neutrones se localizan en el centro, formando el núcleo del átomo y los electrones giran en órbitas alrededor del núcleo. Esta disposición de los átomos es similar al sistema de los planetas que giran alrededor del sol en nuestro sistema solar, como se puede apreciar en la figura 15.

## El núcleo

El núcleo es la parte central de un átomo y está formado por dos tipos de partículas: los protones y los neutrones. El número de protones en el núcleo determina la forma en que el átomo de un elemento difiere de otro.

Por ejemplo, el núcleo de un átomo de hidrógeno contiene un protón, el del oxígeno contiene 8, el del cobre 29, el de la plata 47 y el del

## Estructura del átomo

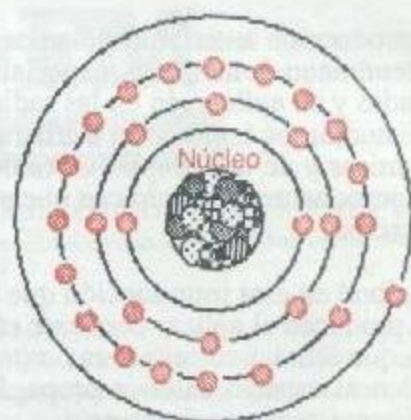


Fig. 15

oro 79. De hecho, ésta es la forma en que se identifican los diferentes elementos, es decir, por sus números atómicos. Así que el *número atómico* de un elemento es el número de protones que contiene cada átomo en su núcleo.

El protón es muy pequeño. Se estima que tiene 1.778 trillonésimas de milímetro de diámetro; el protón mide la tercera parte del diámetro de un electrón, pero tiene casi 1.840 veces su masa; es decir, el protón es casi 1.840 veces más pesado que el electrón.

Es muy difícil desalojar el protón del núcleo de un átomo. Por lo tanto, en la teoría eléctrica, se considera que los protones son partes permanentes del núcleo.

Los protones no toman parte activa en el flujo o transferencia de energía eléctrica. *El protón tiene una carga eléctrica positiva.*

## El electrón

Según se ha explicado anteriormente, el electrón tiene un diámetro tres veces mayor que el del protón, o sea, aproximadamente 5.588 trillonésimas de milímetro; pero es 1.840 veces más liviano que el protón.

*Los electrones son más fáciles de mover y son las partículas que participan activamente en el flujo o transferencia de energía eléctrica.*

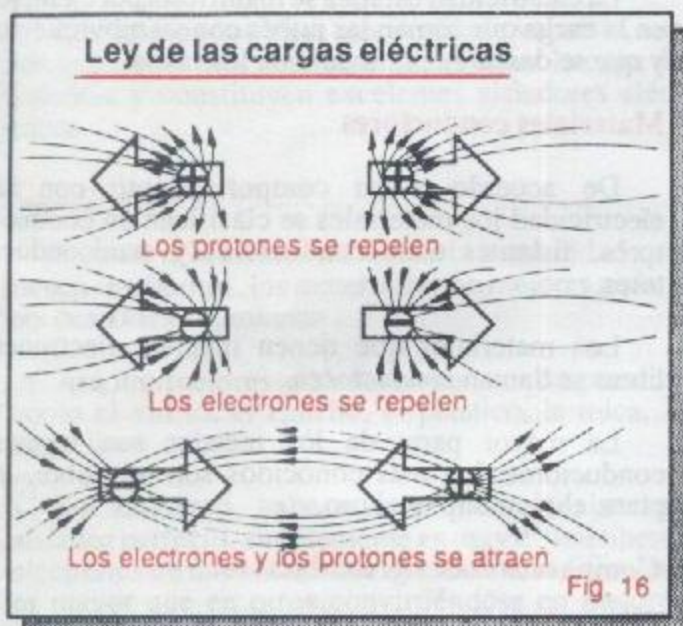


Los electrones giran en órbitas alrededor del núcleo de un átomo y tienen cargas eléctricas negativas.

### Ley de las cargas eléctricas

La carga negativa de un electrón es igual, pero opuesta, a la carga positiva de un protón.

Las cargas de un electrón y un protón se llaman *cargas electrostáticas*. Las líneas de fuerza asociadas con cada partícula producen campos electrostáticos. Debido a la forma en que interactúan estos campos, las partículas cargadas pueden atraerse o repelerse entre sí. (figura 16).



La ley de las cargas eléctricas dice que las partículas que tienen cargas del mismo tipo se repelen, y las que tienen cargas diferentes, se atraen.

- Un protón (+) repele a otro protón (+).
- Un electrón (-) repele a otro electrón (-)
- Un protón (+) atrae a un electrón (-).

### Cargas atómicas

Normalmente, un átomo contiene el mismo número de electrones y protones de manera que las cargas iguales y opuestas, es decir, las negativas y positivas, se equilibran entre sí y hacen que el átomo sea eléctricamente neutro.

Ahora bien, según ya se explicó, lo que le da al átomo de un elemento sus propiedades características, es el número de los protones que tiene en el núcleo; pero el número de electrones en diferentes tipos de átomos puede variar.

Si un átomo contiene menos electrones que protones, tendrá una carga positiva. Si tiene más electrones que protones tendrá una carga negativa. Los átomos cargados reciben el nombre de iones.

### Materiales cargados eléctricamente

Cuando en un trozo de material eléctricamente neutro, muchos átomos pierden o ganan electrones, el material quedará cargado.

Hay muchas maneras de producir estos cambios en los átomos, según se explica más adelante. El método que descubrieron los antiguos griegos fue el de la fricción. Por ejemplo, si se frota una varilla de vidrio con un trozo de seda, la varilla de vidrio le donará algunos electrones a la seda. La varilla de vidrio se cargará positivamente y la seda quedará cargada negativamente. A este fenómeno se le ha llamado *electricidad estática*. (figura 17).



### Órbitas de los electrones

Según se ha visto, la electricidad se produce cuando los electrones salen de sus átomos.

Para entender los distintos métodos usados para lograrlo, se necesita saber algo más acerca de la naturaleza de las diferentes órbitas electrónicas que rodean el núcleo de un átomo.

Los electrones giran en sus órbitas a gran velocidad alrededor del núcleo del átomo. Debido a la gran velocidad del electrón, la fuerza centrífuga tiende a sacar al electrón de su órbita.

Por otra parte, la atracción positiva del núcleo impide que se escape el electrón.

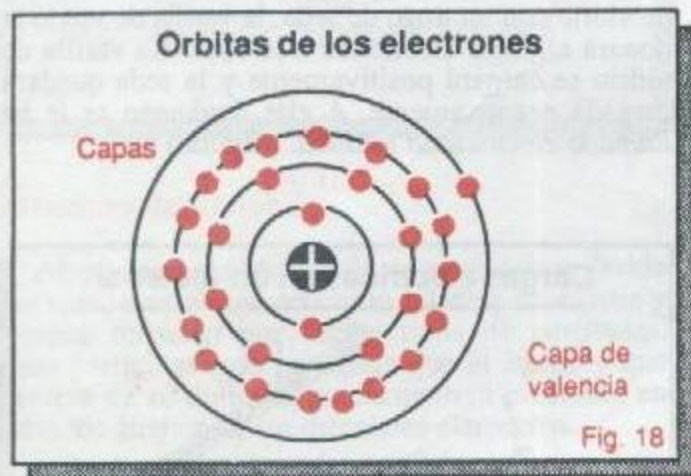
Sin embargo, si se aplica suficiente fuerza externa para ayudar a la fuerza centrífuga, puede liberarse el electrón.



## Capas orbitales

Los electrones que giran cerca del núcleo son difíciles de liberar debido a su proximidad a la fuerza positiva que los sujeta. Cuanto más lejos se encuentren los electrones del núcleo, más débil será la fuerza positiva que ejerce el núcleo.

Como ya lo habrán notado en algunas figuras anteriores, mientras más electrones tiene un átomo, mayor será el número de sus órbitas. Estas trayectorias orbitales comúnmente se llaman capas. (figura 18).



Los átomos de todos los elementos conocidos pueden tener hasta siete capas. La capa exterior de un átomo no puede tener más de 8 electrones.

*Los electrones de esta capa exterior de un átomo reciben el nombre de electrones de valencia.*

El número de electrones en la capa de valencia de un átomo es muy importante en la electricidad, como se verá más adelante.

## Energía del electrón

Aunque todo electrón tiene la misma carga negativa, no todos los electrones tienen el mismo nivel de energía.

Los electrones cuya órbita está próxima al núcleo contienen menos energía que los que se encuentran en órbitas externas. Cuanto más lejanas estén las órbitas electrónicas del núcleo, mayor será su energía.

## Electrones libres

Si se añade suficiente energía a un electrón, saldrá fuera de su órbita, hacia la órbita inmediatamente superior. Y, si se aplica suficiente energía a

un electrón de valencia, el electrón se desligará de su átomo, ya que no existe una órbita inmediata superior. A estos electrones se les llama electrones libres.

## Cuándo se produce la electricidad

La electricidad se produce cuando los electrones se liberan de sus átomos y quedan libres. Puesto que los electrones de valencia son los más alejados de la fuerza atractiva del núcleo y además tienen el nivel de energía más alto, son los que pueden liberarse más fácilmente.

A este tipo de electricidad se le llama electricidad estable o electricidad estática.

La electricidad estática se manifiesta, por ejemplo, en la carga que toman las nubes con su movimiento y que se descarga por medio de los rayos.

## Materiales conductores

De acuerdo a su comportamiento con la electricidad los materiales se clasifican en conductores, aislantes o no conductores y semiconductores.

Los materiales que tienen muchos electrones libres se llaman *conductores*.

La mayor parte de los metales son buenos conductores; los más conocidos son: el cobre, la plata, el aluminio y el oro.

## Comparación de los conductores

Algunos metales son mejores conductores que otros y aunque los átomos de cobre, plata y oro tienen, cada uno, un solo electrón de valencia que puede liberarse fácilmente, la plata es el mejor conductor.

Le sigue el cobre y luego el oro. Esto se debe al hecho de que en una misma cantidad de material, la plata tiene más átomos que los demás metales y por consiguiente, se dispone de un mayor número de electrones libres.

Sin embargo, como el cobre es más barato que la plata, es el que más se utiliza en todo tipo de aplicaciones eléctricas.

## Aislantes

Los aislantes o aisladores son materiales que no dejan que sus electrones se liberen fácilmente. Los átomos de los aisladores tienen capas de valencia que están llenas con 8 electrones o, bien llenas, o más de la mitad.



Cualquier energía que se aplique a uno de estos átomos, se distribuirá entre un número de electrones relativamente grande.

Además, estos átomos se resisten a desprenderse de sus electrones, debido a un fenómeno que se conoce como estabilidad química.

Un átomo es completamente estable cuando su capa exterior está completamente saturada, o cuando tiene 8 electrones de valencia.

Así pues, no solamente es difícil liberar a sus electrones, sino que los átomos de los aisladores también se oponen a la producción de electricidad, debido a su tendencia a atrapar a todos los electrones que puedan ser liberados.

Los átomos con siete electrones de valencia, son los que tratan más activamente de llenar la capa de valencia y constituyen excelentes aisladores eléctricos.

### Compuestos aislantes

Debido a la tendencia hacia la estabilidad que tienen los átomos, los materiales son mejores aislantes cuando se combinan.

Así, los mejores aisladores son compuestos, como el vidrio, el caucho, el plástico, la mica, la baquelita y otros.

Sin embargo, cabe anotar que no existe un aislador perfecto, simplemente es muy difícil liberar electrones de tales materiales, y en unos la dificultad es mayor que en otros, convirtiéndose en mejores aislantes.

Los aislantes se utilizan para recubrir los conductores de cobre, con el fin de que no se tenga contacto directo con la corriente eléctrica en el caso de altos voltajes.

Estos materiales se utilizan con mucha frecuencia para fabricar una gran cantidad de componentes electrónicos, como suiches, bornes de conexión, perillas para aparatos electrónicos, y como soportes para las resistencias, los condensadores, las bobinas, los transistores, etc.

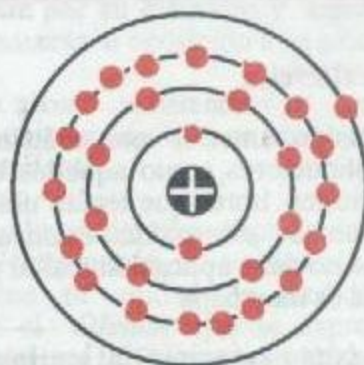
En la figura 19 podemos observar la estructura atómica de un conductor y de un aislante.

### Los semiconductores

Puesto que los conductores tienen sus capas de valencia llenas hasta la mitad, y los aisladores tienen las suyas llenas a más de la mitad, las sustancias que tienen átomos con cuatro electrones de valencia

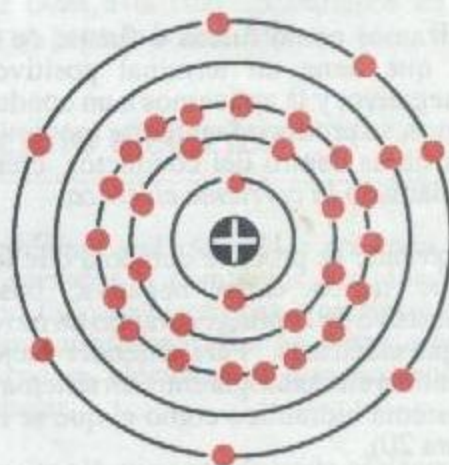
## Conductores y aislantes

Atomo de Cobre



Conductor

Atomo de Bromo



Aislante

Fig. 19

reciben el nombre de *semiconductores*. Estos conducen mejor que los aislantes, pero no tan bien como los conductores.

Algunos ejemplos son: el germanio, el silicio y el selenio.

Los semiconductores son de mucha importancia en la electrónica, ya que con ellos se fabrican los diodos, los transistores y los circuitos integrados, que son los componentes que han revolucionado toda la práctica de la electrónica, debido a su pequeño tamaño, bajo costo y gran confiabilidad.

Estaremos estudiando los semiconductores, los componentes fabricados con ellos y sus aplicaciones en los circuitos de radio, en próximas lecciones.



# La corriente eléctrica, los circuitos y la Ley de Ohm

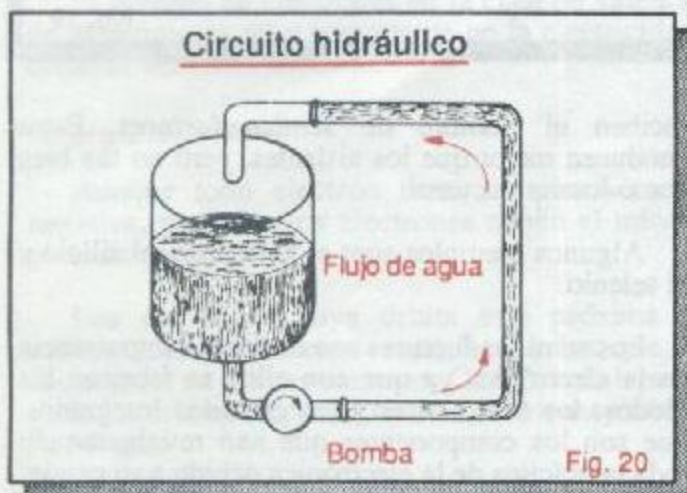
## La corriente eléctrica

En la lección anterior nos referimos a los materiales conductores, como aquellos que tenían muchos electrones libres que tenían una forma de electricidad llamada *electricidad estática*. Este tipo de electricidad no tiene aplicación real ni práctica, ya que su energía es muy baja.

Tomando como principio la ley básica de las cargas eléctricas, podemos imaginarnos que, si se aplica alguna fuerza similar de tipo eléctrico, las cargas negativas o sea los electrones, se pueden hacer mover y crear así una corriente o flujo de electrones, con una energía muy poderosa.

Si utilizamos como fuerza o fuente de energía una pila, que tiene un terminal positivo y un terminal negativo, y la aplicamos a un conductor en sus extremos, se producirá un fuerte movimiento de electrones libres dentro del conductor, creando lo que se ha llamado *la corriente eléctrica*.

Esta corriente se produce debido a que los electrones, que tienen carga negativa, buscan el terminal positivo de la pila, generando un movimiento de cargas eléctricas. Para entender mejor esto, estableceremos una analogía entre un sistema eléctrico y un sistema hidráulico como el que se muestra en la (figura 20).



Para que el agua pueda fluir por la tubería, se requiere que haya una fuerza aplicada por una bomba. En un circuito eléctrico, para que la corriente

pueda fluir por los conductores, se requiere un voltaje o tensión que empuje los electrones; la acción del voltaje sobre el circuito eléctrico es similar a la acción de la bomba en el circuito hidráulico.

La unidad de medida de la corriente eléctrica es el *amperio*. Este nombre se ha dado en honor del físico y matemático francés André Marie Ampere, quién vivió entre 1775 y 1836. Sus experimentos sobre la corriente eléctrica y el magnetismo, fueron uno de los primeros trabajos que se hicieron al respecto, y que ayudaron a conocer la verdadera naturaleza de estos importantes fenómenos.

Cuando decimos que por un conductor circula una corriente de un amperio, significa que por dicho conductor pasan 6.300.000.000.000.000.000 de electrones libres durante un segundo.

Esta forma de medir la corriente es comparable a la medida de "litros por segundo", que se utiliza para medir la cantidad de agua que circula por una tubería en ese período de tiempo. La corriente eléctrica se representa en los diagramas con la letra *I*, ya que también recibe el nombre de *Intensidad de corriente*.

## El voltaje

Se habla de terminal positivo de una pila porque tiene un valor mayor de carga que el terminal negativo. Esta diferencia de cargas se ha llamado fuerza electromotriz, tensión, diferencia de potencial o *voltaje*, que es el término más común utilizado actualmente. La unidad de medida del voltaje es el *Voltio*. Esta unidad se ha llamado así en honor al científico italiano Alessandro Volta, quién inventó la primera pila eléctrica. Existen diferentes formas de producir o *generar* un voltaje; mencionaremos aquí las más utilizadas:

a) Por un proceso químico, introduciendo dos electrodos de metales diferentes en una solución química. Este es el caso de los diferentes tipos de pilas que existen en el mercado.

b) Mecánicamente, utilizando el proceso de inducción magnética por medio de los generadores o plantas eléctricas.



c) El método de la fricción, para producir electricidad estática, haciendo frotar un material como la ebonita contra un paño de lana.

d) Por medio del efecto piezoeléctrico, utilizando la propiedad que tienen algunos cristales como el cuarzo, que producen un voltaje cuando se someten a una presión mecánica.

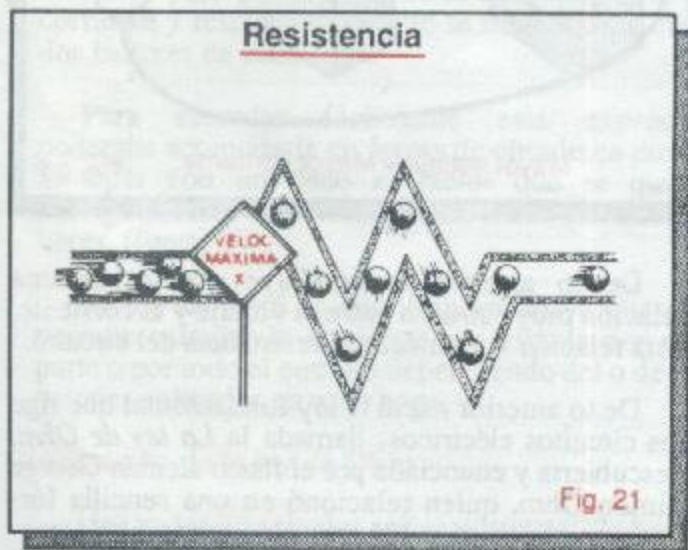
e) Mediante el fenómeno fotovoltaico, caso de las pilas solares, en donde se produce un voltaje cuando le llega luz a un material especial como el selenio.

Los métodos más utilizados en la práctica para generar un voltaje utilizable, son los dos primeros y los estaremos estudiando próximamente, cuando tratemos el tema de la corriente continua y de la corriente alterna.

Además de la corriente y el voltaje, encontramos en los sistemas eléctricos un fenómeno llamado *resistencia*.

### La resistencia

La *resistencia* es cierta dificultad que encuentran los electrones para circular libremente por los conductores. (figura 21). Esta dificultad está relacionada con el diámetro de los conductores, la longitud y el material del cual están conformados, como ya habíamos visto al estudiar la estructura atómica de los conductores.



Podemos comparar este fenómeno con un grupo de vehículos que fluyen por una carretera.

Si la carretera es muy angosta, los vehículos encuentran mucha dificultad en fluir por ella, lo mismo si tiene muchas curvas o si se encuentra en muy

mal estado. Una carretera en esas condiciones ofrece resistencia al flujo de vehículos.

En un circuito hidráulico, el agua encuentra cierta dificultad para fluir libremente por los tubos, especialmente por su diámetro y curvas, los que ofrecen *resistencia* u oposición a su paso.

Por lo tanto, resistencia es en términos eléctricos, la oposición que un cuerpo presenta al paso de la corriente.

Así como la corriente se expresa en amperios y la fuerza electromotriz en voltios, la resistencia también tiene su unidad de medida y se ha denominado el *Ohmio*, que se expresa generalmente con la letra  $\Omega$  (Omega) del alfabeto griego.

El nombre de esta unidad se ha dado en honor al gran físico *George Simón Ohm*, quien descubrió una ley muy importante y básica que relaciona la corriente, el voltaje y la resistencia, conocida como la *Ley de Ohm*, a la cual dedicaremos un estudio completo un poco más adelante.

## El circuito eléctrico

Un circuito está formado por uno o más caminos cerrados o completos, por donde puede circular un flujo de electrones o corriente eléctrica para realizar un trabajo. Sin un circuito no puede haber corriente eléctrica, ya que no tendría por dónde circular.

El circuito eléctrico está formado básicamente por una fuente de energía o voltaje, por los conductores que la transportan y por una *carga* que utiliza esa energía, transformándola en otras formas de energía, como mecánica, en el caso de un motor, energía calorífica en el caso de una resistencia, o energía luminosa en el caso de un bombillo.

La figura 22 muestra la apariencia física y el diagrama de un circuito eléctrico elemental conformado por una pila, un bombillo pequeño y los conductores o alambres.

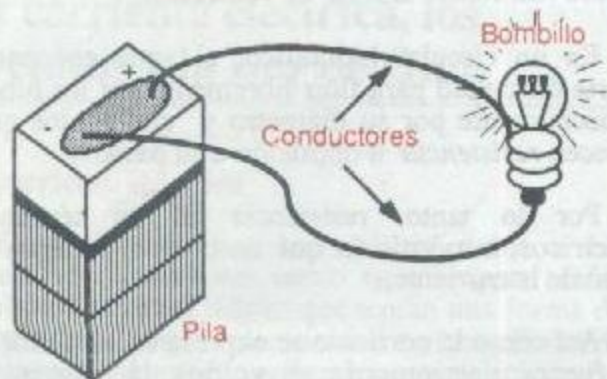
La pila es la fuente de energía, los conductores, llevan la corriente y el bombillo es la carga.

Si se interrumpe cualquiera de los conductores se suspende la circulación de la corriente por el circuito.

Debemos tener en cuenta que en todos los circuitos eléctricos y electrónicos, sin importar su complejidad, tienen tres factores asociados a ellos. Estos son: Corriente, Voltaje y Resistencia.



### Circuito sencillo



### Diagrama

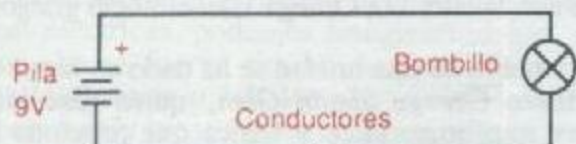


Fig. 22

La corriente o electricidad es la cantidad de electrones que fluyen a través de los conductores; el voltaje es la fuerza que hace que fluya esta corriente, y la resistencia se opone al paso de la corriente.

De lo anterior se deduce que en un circuito sometido a una tensión o voltaje constante, se puede lograr que fluyan distintos valores de corriente, modificando en cada caso el valor de la resistencia de la carga.

Si la resistencia es alta, la oposición es mayor y por tanto fluye menos corriente; y ante una resistencia baja, la corriente es alta.

El circuito que se describió anteriormente es el más elemental de todos. Existen circuitos muchísimo más complejos, con una enorme variedad de elementos que crean numerosos caminos para el flujo de la corriente.

Estos circuitos se forman con los componentes enumerados en la lección anterior, como son: las resistencias, los condensadores, las bobinas, los diodos, los transistores y otros, en diferentes configuraciones o conexiones, como son los circuitos en serie, en paralelo y mixtos, o sea en serie-paralelo.

A su vez todos los aparatos electrónicos como un radio, un televisor, un equipo de sonido, un computador, un satélite, etc., están constituidos por varios circuitos con diferentes formas y funciones.

Un circuito eléctrico por muy complejo que sea, siempre estará basado en otros circuitos más sencillos.

## La ley de Ohm

Hasta ahora se ha hecho mención a los tres elementos básicos en todo circuito eléctrico: Voltaje, Corriente y Resistencia, pero no hemos visto cómo se relacionan entre sí.

En los circuitos eléctricos es muy fácil modificar el valor de los elementos básicos, como la corriente que circula por él. Esto lo podemos lograr variando el voltaje o la resistencia del circuito.

Si hacemos por ejemplo que el voltaje aumente, ya sea agregando una pila más, obtendremos una mayor corriente circulante. Por otra parte, si dejamos el voltaje constante, pero de algún modo aumentamos la resistencia del circuito, notaremos que la corriente disminuye. (figura 23)

### Variación de la corriente

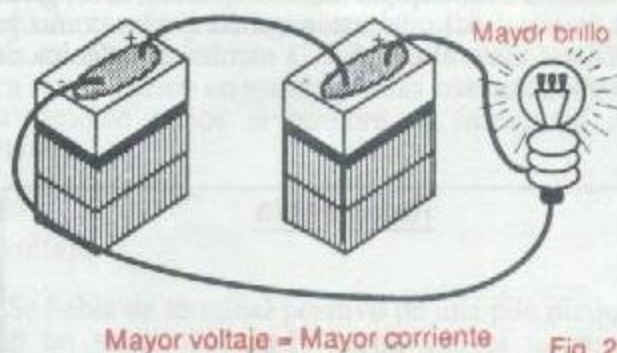


Fig. 23

De lo anterior se concluye que existe una relación muy estrecha entre el voltaje y la corriente. Esta relación la establece la resistencia del circuito.

De lo anterior nació la ley fundamental que rige los circuitos eléctricos, llamada la *La ley de Ohm*, descubierta y enunciada por el físico alemán George Simon Ohm, quien relacionó en una sencilla fórmula matemática a los tres elementos fundamentales en todo circuito eléctrico.

La ley de Ohm permite encontrar uno de los tres factores que no se conoce si tenemos el valor de los otros dos. Así, si en un circuito conocemos el voltaje dado en voltios y la resistencia en ohmios, podemos hallar la corriente en amperios.



La Ley de Ohm dice:

*En todo el circuito electrónico, la corriente que circula por él, es directamente proporcional al voltaje aplicado, e inversamente proporcional a la resistencia propia del circuito.*

Su expresión matemática es la siguiente:

$$V = I \times R$$

En donde:

V: Voltaje o tensión expresado en Voltios

I: Corriente expresada en Amperios

R: Resistencia expresada en Ohmios ( $\Omega$ ).

En otras palabras:

$$\text{VOLTIOS} = \text{AMPERIOS} \times \text{OHMIOS}$$

De esta fórmula general podemos obtener las fórmulas para calcular los otros dos valores, el de corriente y resistencia, cuando se conocen los otros dos factores en cada caso.

Para recordar fácilmente esta expresión podemos acomodarla en forma de círculo, en donde al tapar con un dedo el factor que se quiere averiguar, basta con visualizar las letras que quedan libres. (figura 24).

La ley de Ohm es muy importante, ya que nos permite calcular la corriente que circula por una parte o por todo el circuito, dependiendo del o de los voltajes aplicados en cada parte.

### Utilización de la ley de Ohm

Una de las principales aplicaciones para la ley de Ohm es determinar cuánta corriente circula por los conductores de un circuito, con el fin de utilizar el diámetro correcto para este conductor.

Si no se hace esto, y se utiliza un conductor o cable más delgado, éste introduce una resistencia adicional al circuito y la corriente disminuye generando pérdidas de energía.

### Recordando la ley de Ohm

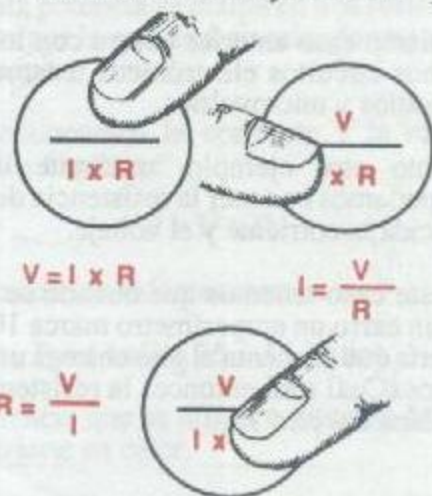


Fig. 24

La ley de Ohm nos permite calcular con facilidad en un circuito el voltaje, la corriente y la resistencia, usando las respectivas fórmulas así:

Tomaremos como primer ejemplo el circuito sencillo de la figura 22. Si tenemos conectada una pila de 9 voltios y el bombillo tiene una resistencia en su filamento de 30 Ohmios, podemos averiguar cuánta corriente en amperios circula por el circuito. Utilizando la ley de Ohm tenemos:

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{9 \text{ Voltios}}{30 \text{ Ohmios}} = 0.3 \text{ Amperios}$$

**Por lo tanto, la corriente que circula por el circuito es de 300 miliamperios**

Observando el ejemplo anterior vemos que se ha utilizado la palabra *miliamperios*.

Esto se debe a que en los circuitos y sobre todo en electrónica, se tienen corrientes muy pequeñas que son mucho menores que la unidad del Amperio. Estas unidades se llaman submúltiplos y las más empleadas son los miliamperios y los microamperios. Un miliamperio es la milésima parte de un amperio, y un microamperio es la millonésima parte



de un amperio. Por lo tanto, en algunas operaciones con la ley de Ohm podemos obtener estos valores.

El mismo caso anterior ocurre con los voltios, y, en muchos circuitos electrónicos tenemos voltajes de milivoltios y microvoltios.

Como otro ejemplo: mediante la fórmula  $R=V/I$ , podemos conocer la resistencia de un circuito, conocida la corriente y el voltaje.

En este caso tenemos que cuando se acciona el pito de un carro, un amperímetro marca 10 amperios y la batería que alimenta al pito entrega un voltaje de 12 voltios. ¿Cuál será entonces la resistencia interna de la bobina del pito?

$$R = \frac{V}{I}$$
$$R = \frac{12 \text{ Voltios}}{10 \text{ Amperios}}$$
$$R = 1.2 \text{ Ohmios}$$

Debido a que esta resistencia es muy baja, la corriente que consume el pito es alta, y, si se deja accionado en forma permanente, se puede descargar rápidamente la batería.

En otro ejemplo: podemos hallar también el voltaje con que se está alimentando un radio portátil, si conocemos que su consumo de corriente es de 200 miliamperios ó 0.2 Amperios y que la resistencia interna es de 45 Ohmios.

$$V = I \times R$$
$$V = 0.2 \text{ Amperios} \times 45 \Omega$$
$$V = 9 \text{ Voltios}$$

### Potencia eléctrica

La potencia es el factor que resume el trabajo total que realiza un circuito; por ejemplo, producir luz, irradiar calor, emitir sonidos, producir movimientos, etc.

La potencia o trabajo en un circuito eléctrico, resulta de la acción de una corriente eléctrica ante la presencia de una fuerza electromotriz o voltaje. Una batería sola no realiza ningún trabajo, se requiere que tenga conectada una carga para que haya flujo de corriente. La potencia eléctrica se mide en **Vatios**

De esta manera se obtiene la energía total que consume o que transforma un aparato. En términos de energía sabemos que ésta no se produce, ni se crea ni se destruye, solamente se transforma. En cualquier circuito eléctrico o electrónico, por sencillo o complejo que sea, lo que se realiza es una transformación de un tipo de energía en otro.

Así se menciona, por ejemplo, que un bombillo es de 100 vatios. Lo que se está diciendo es que toma esa energía de una fuente de electricidad y la transforma, parte en energía luminosa y parte en energía calorífica.

Un motor por ejemplo, toma energía eléctrica y la transforma en energía mecánica o movimiento.

En un circuito de un radio, éste toma energía de unas pilas o de un tomacorriente y la transforma en energía sonora, captando las ondas de radio y tomando la información de los sonidos que ellas traen.

Para determinar el valor de la potencia en un circuito se multiplica la corriente que circula por el voltaje aplicado a ese circuito, así:

$$P = V \times I$$

Donde:

P = Potencia en vatios

V = Voltaje en voltios

I = Corriente en amperios

Con frecuencia se utilizan múltiplos y submúltiplos para expresar la potencia.

Por ejemplo: el MILIVATIO que equivale a una milésima parte de un Vatio (1/1000); o el KILOVATIO que equivale a mil vatios (1000 Vatios). A menudo se utiliza la letra W para indicar los Vatios.

Veamos un ejemplo que nos ayude a entender mejor: Calculemos la potencia de un bombillo de un automóvil que requiere 5 amperios y se alimenta con un voltaje de 12 voltios.



$$P = V \times I$$

$$P = 12 \text{ voltios} \times 5 \text{ amperios}$$

$$P = 60 \text{ Vatios}$$

Lo anterior quiere decir que el reflector disipa 60 vatios de potencia.

Existe otra forma de calcular la potencia, partiendo del voltaje y la resistencia, o de la corriente y la resistencia. Esto se logra reemplazando cada factor por su equivalente, tomado de la ley de Ohm; así tenemos:

$$P = V \times I$$

De la ley de Ohm tenemos:

$$V = I \times R \text{ o } I = \frac{V}{R}$$

Reemplazando:

$$1) P = I \times R \times I = I^2 \times R$$

$$P = I^2 \times R$$

Potencia en función de la corriente y la resistencia

$$2) P = V \times \frac{V}{R} = \frac{V^2}{R}$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Potencia en función del voltaje y la resistencia

Con lo anterior podemos averiguar el trabajo realizado por un circuito, conociendo su resistencia y la corriente o el voltaje. Ejemplo:

Un equipo de sonido o amplificador de audio entrega en su salida una señal que tiene una tensión o voltaje de 20 Voltios.

¿Cuánta potencia entregará en sonido a un parlante de  $8 \Omega$  conectado en su salida?

La potencia que entrega el parlante es de 50 W (vatios).

## Otros ejemplos

a) ¿Cuánta potencia se disipa en una resistencia de 15 Ohmios por la que está circulando una corriente de 1 amperio?

Como conocemos la corriente y la resistencia aplicamos la fórmula:

$$P = I^2 \times R$$

Reemplazando los valores tenemos:

$$P = (1 \times 1) \times 15 = 15 \text{ Vatios}$$

Esta potencia que se *disipa* o gasta en la resistencia se convierte en calor.

También podemos hallar el valor de la resistencia, la corriente y el voltaje conociendo la potencia y otro factor.

b) ¿Cuál es la resistencia de un bombillo de 100 vatios que está conectado a 110 Voltios?

Sabemos que  $P = V^2/R$  de donde  $R = V^2/P$

Reemplazando tenemos:

$$R = (110)^2 / 100 = (12.100) / 100 = 121 \Omega$$

El bombillo convierte los 100 vatios que recibe de energía eléctrica, en energía calorífica una parte, y la otra en energía luminosa.

## Formas de la corriente eléctrica

La corriente eléctrica en un circuito circula de muchas maneras, dependiendo del tipo de corriente que suministre la fuente que alimenta a un circuito determinado.

Hay corrientes que se mantienen constantes, otras están fluctuando o variando en el transcurso del tiempo, otras invierten su sentido de circulación cada tiempo determinado o cambiando periódicamente su polaridad, otras corrientes suben y caen bruscamente. Todo lo anterior de diferentes formas y magnitudes.

Las formas más conocidas de corriente son:

Corriente continua (CC) o Corriente directa (CD)

Corriente pulsante

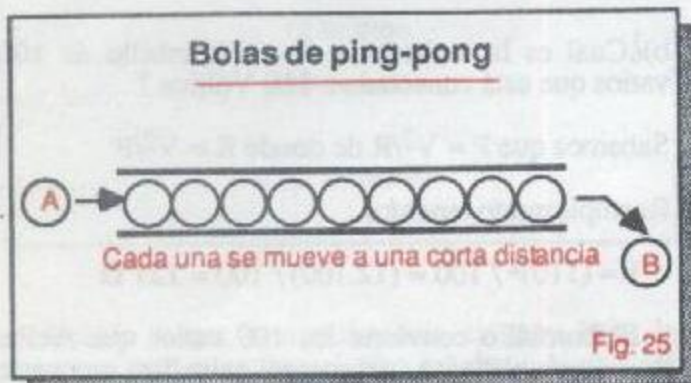
Corriente alterna (CA)



## Corriente continua

Cuando tenemos una fuente que suministra una corriente constante que siempre fluye en un solo sentido, es decir el polo positivo siempre será positivo y el polo negativo siempre será negativo, estamos ante la presencia de una Corriente Continua (CC). Las pilas y las baterías suministran corriente continua.

Cuando los electrones libres se mueven en una dirección, ellos sólo viajan una distancia muy corta. O sea, cada electrón se mueve una fracción de distancia muy pequeña, pero el efecto total es como si un electrón se moviera a través de todo el conductor. Esto trabaja más o menos así, como se muestra en la figura 25.



Suponga que hay un tubo lleno de pelotas de ping-pong. Si usted mete otra pelota -A-, una sale por el otro extremo -B-. En el interior del tubo cada pelota sólo se mueve una corta distancia, pero el efecto se siente en todo el tubo.

Esto es lo que pasa en un circuito eléctrico. Las bolas de ping-pong son los *electrones*, cada cual empujando a otro, aunque cada electrón se mueve sólo a una corta distancia. (figura 26).

En el circuito que se muestra en la figura 27 (y en todos los circuitos eléctricos) cuando se cierra un suiche, los electrones se mueven en la dirección indicada. Esto pasa en todo el circuito al mismo tiempo.

Por cada electrón que sale del terminal negativo de la pila, llega uno inmediatamente al terminal positivo de la misma.

La corriente es, para términos prácticos, *instantánea* en todo el circuito.

## Actividad práctica Nº 2

En esta segunda actividad vamos a instalar en el tablero del radio AM las puntillas de cobre o soportes que servirán para sostener y soldar los diferentes componentes del radio.

### Materiales y herramientas necesarios

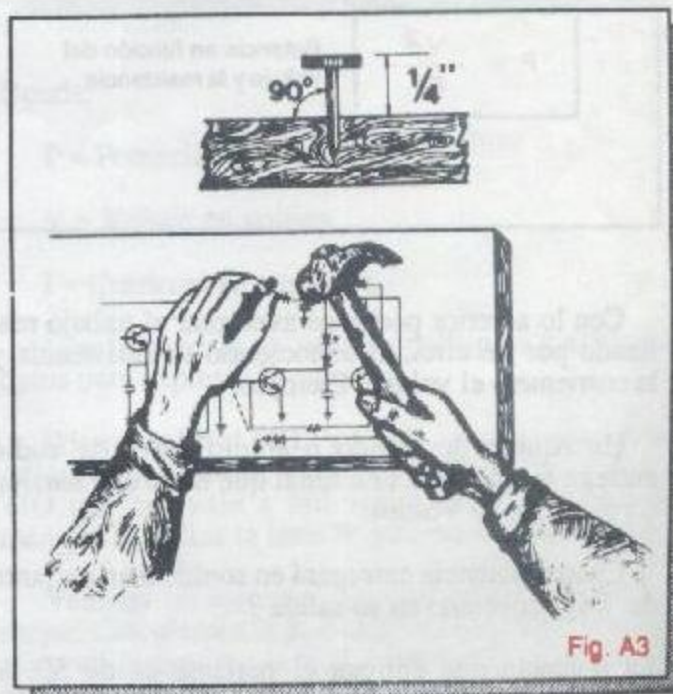
150 Puntillas de cobre calibre 18 x 5/8 ". Estas deben ser de cobre para facilitar la soldadura sobre ellas.

1 Martillo

### Paso 1

Tome las puntillas y el martillo. Clave las puntillas en cada punto marcado con un círculo sombreado en el diagrama esquemático, figura A3.

Haga este trabajo cuidadosamente. Las puntillas deben estar en ángulo recto con la superficie de la tabla y deben entrar por lo menos siete (7) milímetros en la tabla para que queden bien sostenidas. Si no es suficientemente gruesa la tabla, las puntillas saldrán al otro lado o no se sostendrán firmemente.





## Movimiento de los electrones

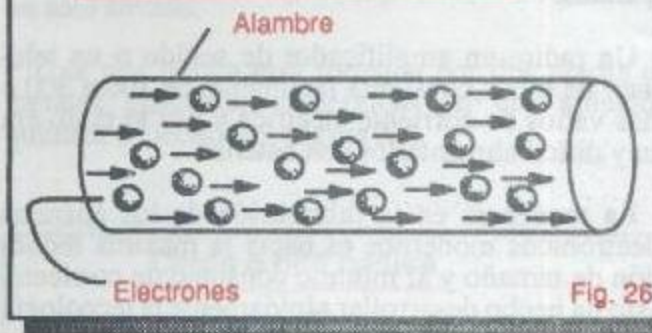


Fig. 26

## Circuito eléctrico

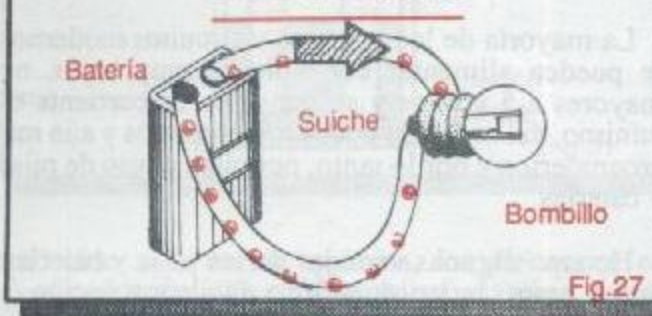


Fig. 27

## Necesidad de corriente continua

La corriente continua es aquella que fluye en una sola dirección y que no cambia con el tiempo; a la corriente continua también se le llama corriente directa y se representa con las siglas CC y CD.

En la figura 28 tenemos la representación gráfica de dos tipos de corriente continua.

## Corriente continua

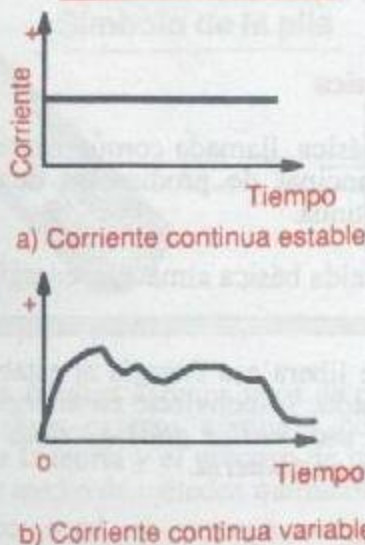


Fig. 28

En la forma de onda a, la corriente es positiva y siempre tiene el mismo valor.

En la forma de onda b, la corriente sigue siendo positiva pero cambia de valor con el tiempo sin llegar a ser negativa.

La necesidad de tener corriente continua es muy amplia. Si usted mira alrededor y piensa en la gran variedad de aparatos electrónicos que se utilizan actualmente en los hogares, en las oficinas y en la industria, quizás no se imagina que *todos* trabajan internamente con corriente continua.

Por lo tanto, todos los equipos electrónicos necesitan alimentación de corriente continua (CC).

## Métodos de producción de CC

Hay dos métodos de producción o suministros principales de corriente continua: las pilas y las fuentes de poder.

## Fuentes de poder

Las fuentes de poder o convertidores son aparatos electrónicos que convierten la corriente alterna (CA) de 110 o 220 voltios, que se encuentra en los tomacorrientes en corriente continua (CC), con voltajes que van desde 1 hasta cientos o miles de voltios. (figura 29).

## Fuente de poder

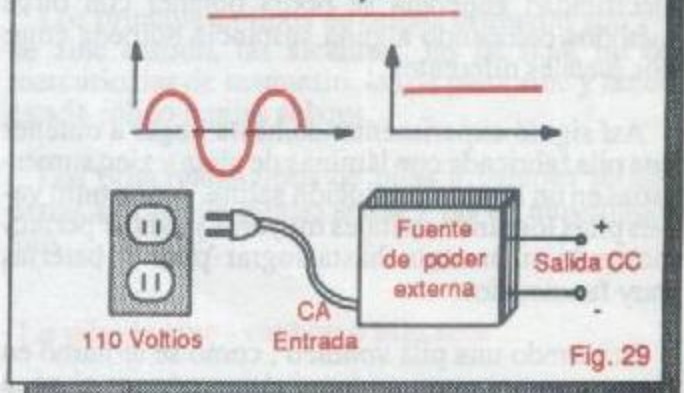
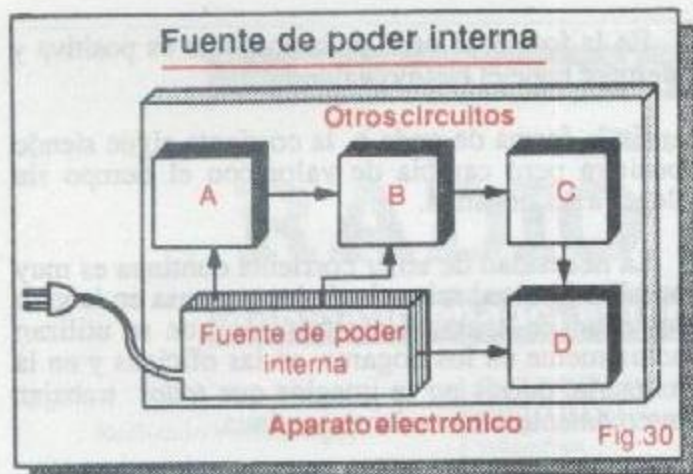


Fig. 29

Si no se necesita que un aparato sea portátil y liviano, se usan las fuentes de poder, ya sean internas o externas. La gran mayoría de los aparatos electrónicos tienen una fuente de poder interna. (figura 30).

Estaremos estudiando el tema de las fuentes de poder, tanto internas como externas, cuando conozcamos los componentes que se utilizan en ellas como son los transformadores, los condensadores, los semiconductores y otros.





## Pilas y Baterías

Los primeros experimentos y desarrollos de la radio y la electrónica se hicieron con corriente continua, utilizando las primeras pilas y baterías que se inventaron.

La invención de la pila se le debe a Alessandro Volta, físico italiano que vivió entre 1745 y 1827. Su invento lo anunció en el año de 1800 ante la Royal Society de Inglaterra.

Volta se basó en el principio descubierto por Galvani, otro científico italiano quien experimentó con tejidos animales, observando que al ponerlos en contacto con dos metales diferentes se contraían.

Inicialmente se pensó que existía la electricidad animal, pero Volta refutó esa teoría y afirmó que la electricidad generada se podía obtener con otros métodos, colocando alguna sustancia húmeda entre dos metales diferentes.

Así siguió experimentando, hasta llegar a obtener una pila fabricada con láminas de plata y zinc, sumergidas en un líquido o solución salina. Volta unió varias pilas, logrando voltajes mayores y así fue perfeccionando su invento hasta lograr pilas y baterías muy funcionales.

Utilizando una pila *voltaica*, como se le llamó en honor a su inventor, se logró descomponer el agua en sus dos elementos, el hidrógeno y el oxígeno, por medio de un proceso llamado *electrólisis*.

Durante muchos años las pilas fueron el principal método de producción de corriente eléctrica continua, hasta que se utilizó el fenómeno de la inducción magnética para fabricar los primeros generadores, tanto de corriente continua como de corriente alterna.

Luégo, en la época de los tubos de radio o válvulas electrónicas, se utilizó principalmente la corrien-

te alterna, que se convertía luego en corriente continua, debido al alto consumo de potencia de estos aparatos.

Un radio, un amplificador de sonido o un televisor de tubos, consumía fácilmente de 100 a 300 o más vatios de corriente eléctrica y por lo tanto era muy difícil alimentarlos con baterías.

La tendencia en la fabricación de los aparatos electrónicos modernos es hacia la máxima reducción de tamaño y al mínimo consumo de corriente. Esto ha hecho desarrollar rápidamente la tecnología de las pilas y las baterías, produciéndose actualmente una gran variedad de ellas en todos los tipos, formas, tamaños y voltajes.

La mayoría de los aparatos y circuitos modernos se pueden alimentar con voltajes muy bajos, no mayores a 5 voltios y su consumo de corriente es mínimo, del orden de pocos miliamperios y aún microamperios y por lo tanto, permiten el uso de pilas y baterías.

He aquí algunas ventajas de las pilas y baterías: poco peso, larga duración, fácil instalación y reemplazo y alta eficiencia.

Estas ventajas y otras no enumeradas han hecho muy popular el uso de pilas y baterías en los equipos electrónicos actuales. Así vemos, por ejemplo, una gran variedad de calculadoras, relojes, radios, equipos de sonido portátiles tipo *Walkman*, televisores, equipos de comunicaciones y computadores personales alimentados con baterías.

Aunque su uso esté creciendo rápidamente, son una fuente de energía costosa, comparándola con la energía que tenemos en los tomacorrientes comunes. Sin embargo el desarrollo de baterías de gran duración y recargables hace que su costo se haga cada vez más bajo.

## La celda básica

La celda básica, llamada comúnmente pila, es el elemento principal de producción de voltaje de corriente continua.

La pila o celda básica almacena energía en forma química.

Cuando se libera esa energía al establecerse un circuito cerrado, se convierte en energía eléctrica para nuestro uso. *Varias pilas o celdas se pueden unir y forman una batería.*

Por lo tanto, aunque se hace con mucha frecuencia, no debemos confundir estos dos tér-



minos; pila es una celda básica y batería es un conjunto de celdas unidas internamente y empacadas en un solo envase.

Una pila básica está formada por dos placas de metales diferentes, sumergidas en una solución química o electrólito. (figura 31).

### Celda o pila básica

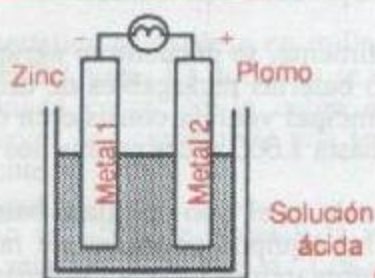


Fig.31

Debido a la acción química, los electrones en exceso se acumulan en el terminal negativo, mientras que en el terminal positivo hacen falta electrones.

De esta manera se crea una diferencia de cargas o voltaje. Este voltaje es el que utilizamos para producir la corriente que alimenta los circuitos electrónicos.

En la figura 32 se muestra el símbolo utilizado para las pilas en los diagramas de los aparatos eléctricos y electrónicos. La línea más grande indica el polo positivo y la línea más corta es el polo negativo.

### Símbolo de la pila

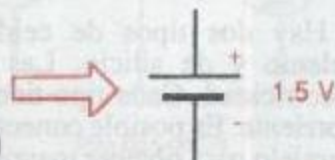


Fig. 32

Podemos fabricar algunos tipos de celdas básicas con elementos caseros comunes, con el fin de comprobar la teoría y el proceso de producción de voltaje por medio de métodos químicos.

Uno de estos métodos es la pila de limón. Podemos fabricarla con un limón que suministra el

ácido y dos objetos de metal diferentes, una puntilla de hierro y un alambre grueso de cobre. (figura 33). Esta pila puede suministrar hasta 1 voltio, que se puede medir con un voltímetro digital sensible.

### Pila de limón



Fig.33

### Principales tipos de pilas

Las pilas se dividen en dos grandes grupos: las pilas y baterías primarias y las pilas y baterías secundarias.

Las pilas primarias no se pueden recargar y se utilizan en forma de descarga simple, y las secundarias se pueden recargar, o sea que se utilizan en forma de descargas sucesivas o de reciclaje repetido.

Los principales tipos de celdas primarias son los de zinc carbón, las alcalinas, las de litio, las de mercurio, las de magnesio, las de plata zinc y las de estado sólido o pilas solares.

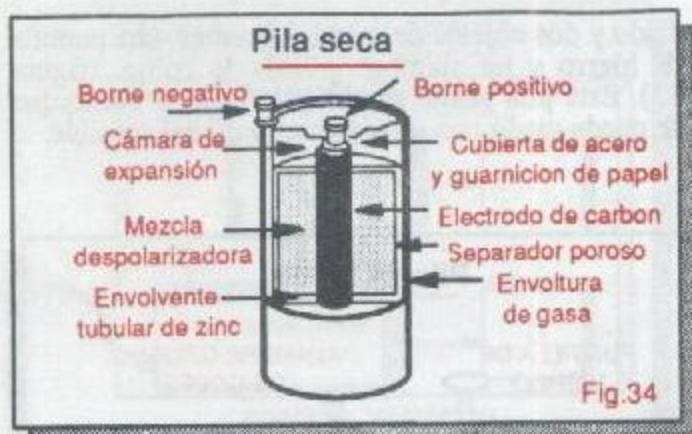
Los principales tipos de pilas y baterías secundarias son las de plomo ácido y las de níquel cadmio.

### La pila de zinc - carbón o pila seca

La pila de zinc-carbón está formada por una placa negativa de zinc, una placa positiva de carbón y un compuesto químico o electrólito de sal de amoníaco y cloruro de zinc. Estos elementos se distribuyen en un empaque cilíndrico como se muestra en la figura 34.

Se llama también pila seca debido a que el electrólito es seco y está impregnado en un medio absorbente, y por lo tanto no hay líquidos dentro de ellas. Este tipo de pila es el que se fabrica y distribuye en mayor cantidad en el mundo y por su bajo costo y abundancia es el de mayor utilización.





Las características básicas de una pila de zinc-carbon son: .

- Tiene larga duración.
- Produce 1.5 voltios.
- Es la pila más usada.
- Viene en tamaños AAA, AA, C y D.
- Es una celda primaria.
- Mientras más grande la pila, produce más corriente en un período de tiempo.

Las pilas de zinc-carbon se encuentran en juguetes, radios, equipos portátiles que requieren una corriente moderada, etc. *Hay que recordar que por ser de tipo primario no se pueden recargar.*

### La pila alcalina

La pila alcalina es similar a la de zinc-carbon y puede ser intercambiada en la mayoría de los casos. Esta pila también es conocida como de zinc-bióxido de manganeso.

La principal ventaja de la pila alcalina es que produce mayor corriente en tiempo largo. Aunque es más costosa que la de zinc-carbon, su duración compensa este valor.

Además, algunos tipos de pilas alcalinas son recargables.

Las pilas alcalinas son ideales para alimentar lámparas de destello en fotografía, juguetes con motores, linternas y otros equipos que requieren una corriente más o menos alta.

### La pila de mercurio

La pila de mercurio está formada por los siguientes elementos: una placa negativa de óxido de mercurio, una placa positiva de zinc y un ácido o electrólito de hidróxido de potasio.

Las características básicas de una pila de mercurio son:

- Entrega aproximadamente de 1.33 a 1.4 voltios con una rata de descarga muy constante.
- Es muy pequeña, algunas son tan delgadas como una aspirina.
- Tiene alta eficiencia.
- Son primarias, o sea, no se recargan.

### La pila de níquel - cadmio

Las pilas de níquel-cadmio se encuentran en tamaños comunes y en formas especiales. Si es una sola celda, produce 1.25 voltios.

Generalmente, se encuentran agrupadas en serie formando baterías recargables de diferentes voltajes. Su principal ventaja consiste en que se pueden recargar hasta 1.000 veces en muchos casos.

Como este es el tipo de pila o batería más utilizada en los equipos portátiles de radiocomunicaciones, entregaremos toda la información necesaria para la construcción de un cargador de este tipo de baterías en la sección de Banda Ciudadana y Radioafición.

Una pila de níquel-cadmio está formada por una placa negativa de cadmio metálico, una placa positiva de hidróxido de níquel y un ácido o electrólito de hidróxido de potasio.

Las pilas o baterías de níquel-cadmio se usan cuando se necesitan recargas y una larga vida, especialmente en equipos portátiles de radiocomunicación, linternas recargables y otros aparatos.

### Las pilas solares

Hay un aumento creciente en el uso de las pilas y las baterías solares. Estas son pilas que convierten energía luminosa en energía eléctrica directamente.

Aunque su rendimiento es muy bajo (20%), una vez que se han instalado, la energía que producen no tiene costo.

Hay dos tipos de celdas o pilas solares, de selenio y de silicio. Las dos convierten luz en electricidad. Cada tipo tiene un rango de voltaje y corriente. Es posible conectar estas celdas en serie y paralelo para obtener mayor corriente y voltaje.

### Características eléctricas de las pilas

De acuerdo a los diferentes tipos de pilas estudiadas anteriormente, se producen en ellas características eléctricas distintas en cada una.

Las principales características eléctricas que se deben tener en cuenta en las pilas son: voltaje en vacío o tensión nominal, capacidad de suministro



de energía, voltaje o tensión con carga y su resistencia interna.

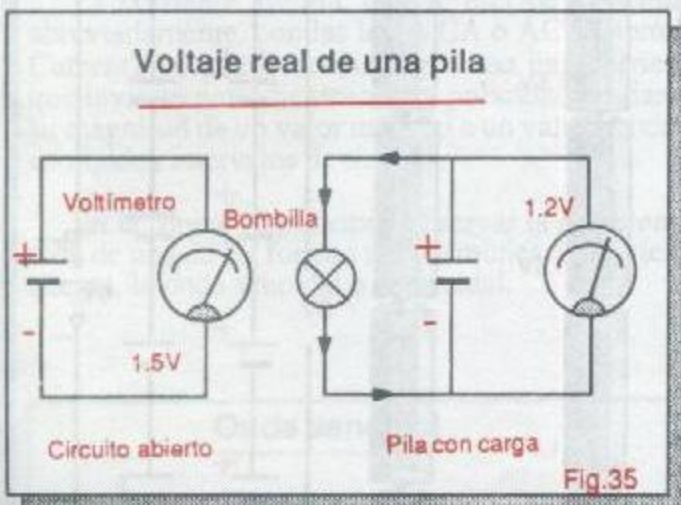
El voltaje o tensión nominal es aquel que está marcado en el empaque exterior de la pila, y depende de su fabricación y composición química. El voltaje nominal más común es de 1.5 voltios.

La capacidad de suministro de energía se refiere, principalmente, al tiempo que puede suministrar una pila, una determinada cantidad de corriente en amperios.

Esta característica se expresa en miliamperios hora o Amperios / hora. La duración se especifica para determinada carga. Si la carga que se le conecta es mayor, lógicamente la pila se descarga más rápidamente.

El voltaje o tensión con carga y la resistencia interna están relacionados entre sí. Los elementos internos de la pila no son conductores perfectos y tienen cierta resistencia al paso de la corriente, lo que se denomina *resistencia interna*. Esta resistencia aumenta con el uso, con el tiempo de almacenaje y con la disminución de la temperatura ambiente en la cual está la pila.

Esta resistencia interna produce una rebaja del voltaje que entrega la pila al circuito externo. Por lo tanto, cuando se conecta alguna carga, el voltaje real sobre esa carga es ligeramente menor que el voltaje nominal. (figura 35).

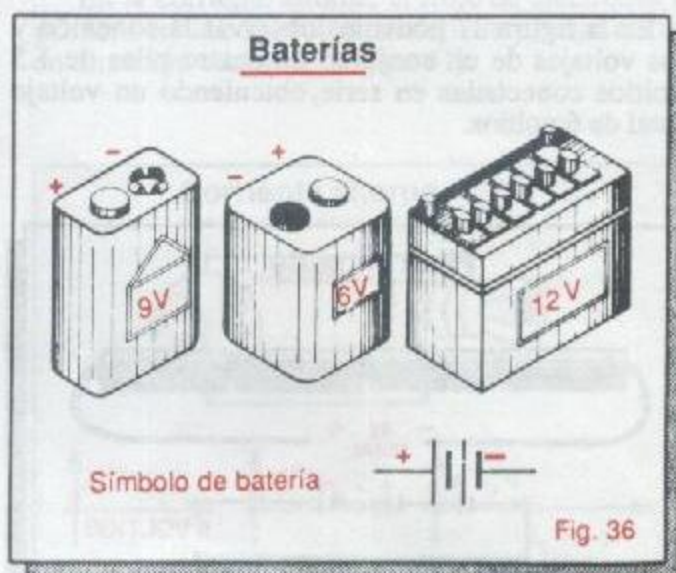


### Baterías

Una celda química o pila básica produce un voltaje muy bajo y por lo tanto se deben agrupar para obtener voltajes mayores, que son necesarios para alimentar los circuitos de los aparatos electrónicos.

Varias celdas básicas o pilas se pueden conectar en serie y de esta forma se obtiene una batería.

Las baterías más comunes en el mercado son: la batería de 9 voltios y las baterías de plomo-ácido de 6, 12 y 24 voltios, que se utilizan en las motos, automóviles y similares. (figura 36). También podemos ver en la figura 36 el símbolo utilizado para representar una batería en un diagrama o plano electrónico; las diferentes líneas indican que hay varias celdas.



### Baterías de plomo-ácido

Uno de los tipos de batería más utilizados como suministro de corriente continua son las de plomo-ácido, también llamadas acumuladores.

Estas baterías son las que utilizan los automóviles y se pueden recargar muchas veces.

Se fabrican con voltajes de 6, 12 y 24 voltios y su característica más importante es la alta corriente que pueden suministrar.

En electrónica se utilizan para alimentar equipos de sonido portátiles, radioteléfonos, sistemas de iluminación de emergencia, plantas telefónicas, etc.

### Conexiones de las pilas y las baterías

Las pilas y las baterías se pueden conectar o unir entre sí para obtener voltajes o corrientes de alimentación, mayores que los que pueden producir por sí solas.

Las conexiones que se pueden hacer se llaman conexión en serie, en paralelo y en serie paralelo.



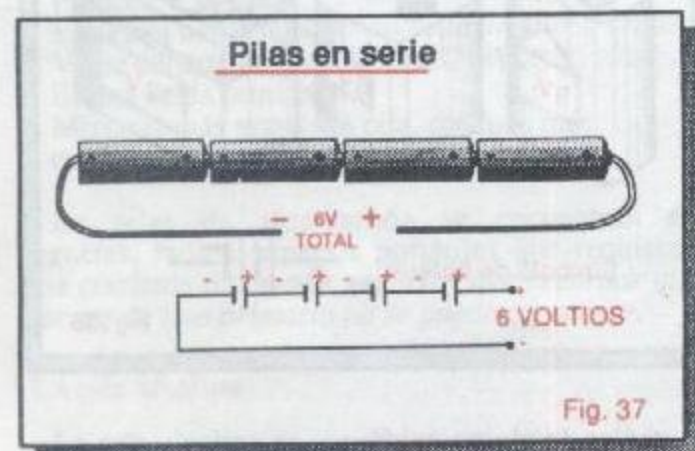
## Conexión en serie

Las pilas y las baterías se pueden conectar en serie, con el fin de obtener un voltaje mayor entre los terminales del nuevo conjunto.

Una conexión en serie significa que el polo negativo de la primera pila se conecta al polo positivo de la siguiente, y así sucesivamente hasta terminar con todas las pilas del circuito.

El voltaje de las pilas en serie se *suma*, obteniéndose así un voltaje mayor.

En la figura 37 podemos observar la conexión y los voltajes de un conjunto de cuatro pilas de 1.5 voltios conectadas en serie, obteniendo un voltaje total de 6 voltios.



## Conexión en paralelo

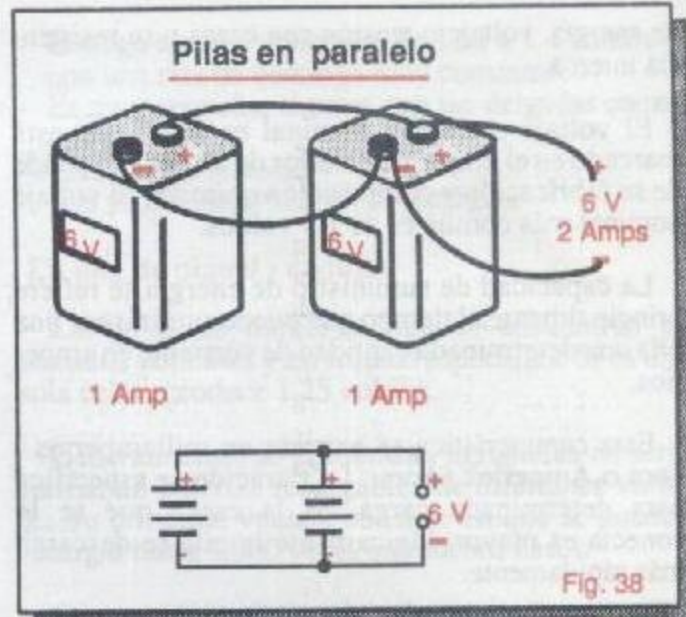
Se llama conexión en paralelo cuando se unen todos los terminales o polos positivos de varias pilas o baterías a una línea común, que es el terminal positivo de todo el conjunto, y todos los terminales negativos a otra línea común que es el terminal negativo del conjunto. (figura 38).

El voltaje de salida de esta conexión es igual al de una sola pila o batería, pero la corriente en amperios que puede entregar esta nueva configuración es igual a la suma de las corrientes de todas las pilas.

De esta manera un conjunto de este tipo puede alimentar circuitos con más consumo de corriente, o proporcionar una mayor duración en el mismo circuito alimentado por una sola pila.

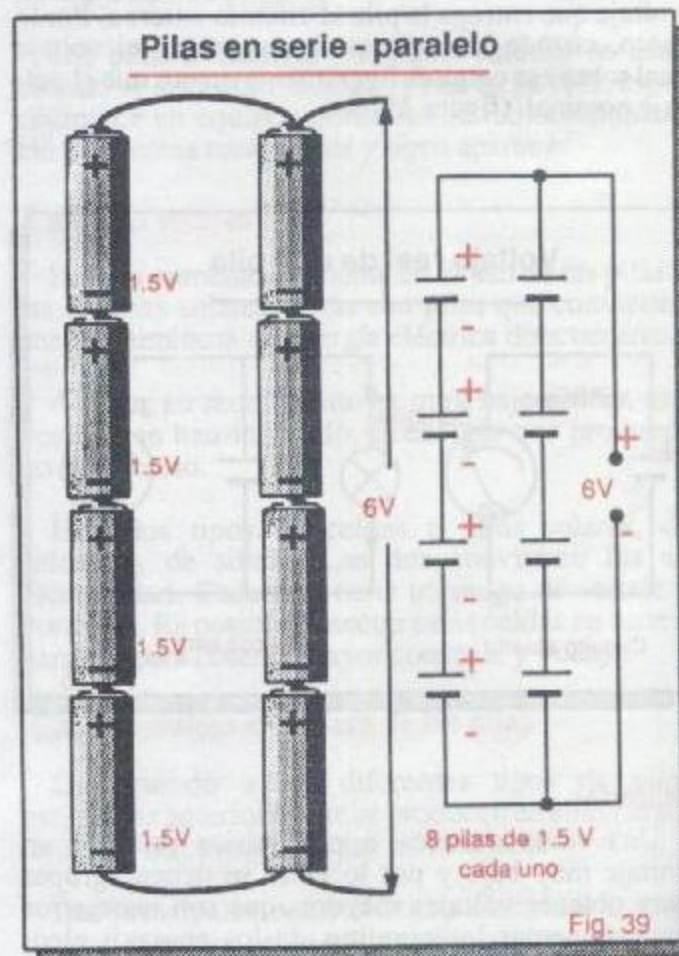
## Conexión serie - paralelo

Se pueden combinar los dos tipos anteriores de conexiones de pilas con el fin de obtener las dos



características de un mayor voltaje y una mayor corriente en un solo conjunto.

En la figura 39 podemos observar este tipo de conexión con un ejemplo del voltaje y la corriente resultantes.





## Corriente alterna ( CA o AC )

El estudio de la corriente alterna, la otra forma de energía eléctrica, es de mucha importancia en este curso de radio, ya que todas las señales que se utilizan en los circuitos de radio y comunicaciones son señales de corriente alterna.

Utilizamos el término *señales* para indicar una forma de energía eléctrica, con un voltaje y corriente determinados.

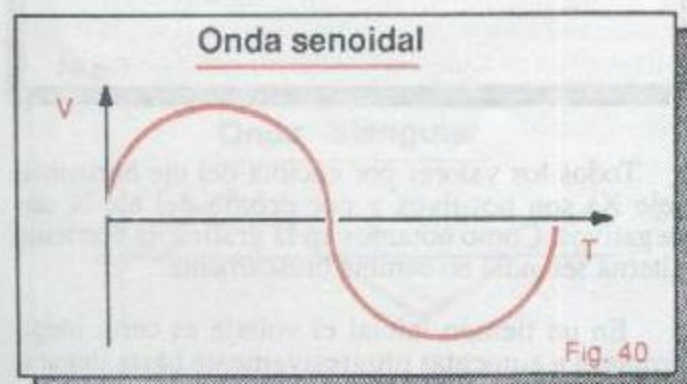
Las ondas de radio que se emiten en un transmisor, son producidas por señales de corriente alterna que llegan a la antena. Los sonidos que se transmiten por radio, son también señales de corriente alterna y, la energía que se utiliza para alimentar muchos aparatos electrónicos, es corriente alterna.

Hemos llegado a uno de los temas más importantes y apasionantes dentro de todo este curso, ya que la corriente alterna se encuentra en todas partes y los fenómenos que involucra son muy variados y especiales.

Haremos especial énfasis en el estudio del comportamiento de los diferentes componentes de los radios, como son los condensadores, las bobinas y los semiconductores cuando tienen aplicada a sus terminales una o varias señales de corriente alterna.

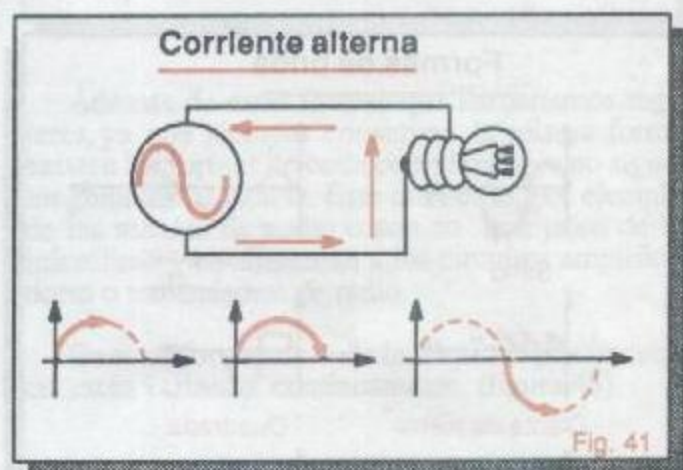
La corriente alterna, que se escribe a menudo abreviadamente con las letras CA o AC (Alternate Current), se puede considerar como una corriente que invierte periódicamente su polaridad, variando su magnitud de un valor mínimo a un valor máximo en rápidos intervalos de tiempo.

En la figura 40 podemos observar la representación de una de las formas más comunes de corriente alterna, la onda senoidal o sinusoidal.



Una fuente de corriente alterna no tiene borne positivo y borne negativo, ya que un borne es negativo en un instante y se vuelve positivo en otro instante, es decir la corriente circula en un sentido y luego en sentido opuesto, en un movimiento de ir y venir que se repite indefinidamente.

En la corriente alterna, el flujo de electrones va primero en una dirección, se detiene y luego circula en dirección contraria. (figura 41).



### Características de la corriente alterna

Una energía o señal de corriente alterna tiene diferentes características que las hace distinguir unas de otras.

Cuando hablamos de las ondas de radio, que son señales de corriente alterna, adelantamos algunas características de este tipo de corriente.

Las principales características de una señal de corriente alterna son :

- La forma de onda
- La amplitud o voltaje
- La frecuencia

Cuando existen dos señales de corriente alterna en un mismo circuito, se tiene además otro factor importante que se llama *relación de fase*.

### La forma de onda

La corriente alterna se produce por diferentes métodos. Los más utilizados son los generadores

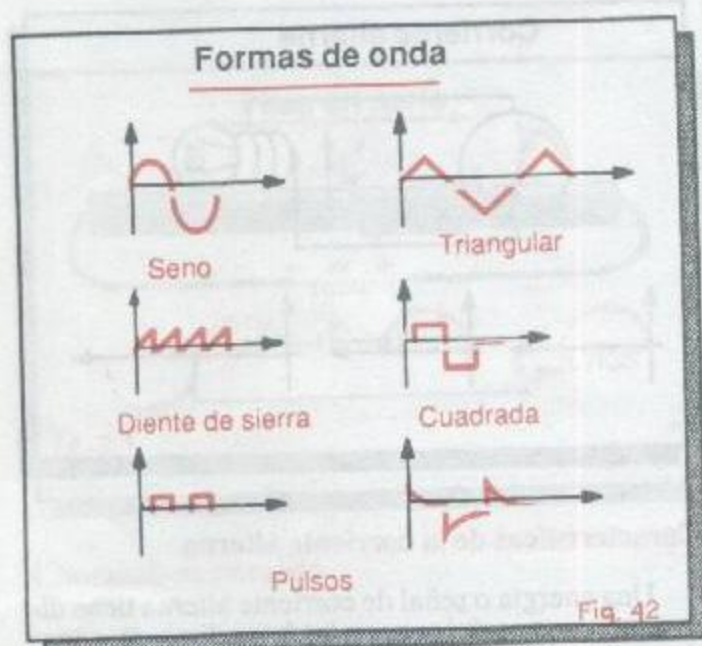


electromagnéticos o plantas eléctricas y los circuitos osciladores electrónicos.

Una señal de corriente alterna varía en su amplitud o tamaño con respecto al tiempo de varias maneras, dependiendo del sistema utilizado por el generador o la fuente de voltaje.

Si representamos esta variación por medio de una figura de amplitud y tiempo se producen gráficas con diferentes formas geométricas. Estas gráficas nos indican la forma de onda con las cuales se identifica la señal.

Las formas de onda más conocidas son: la senoidal, la triangular, la de diente de sierra, la onda cuadrada y los pulsos. (figura 42).



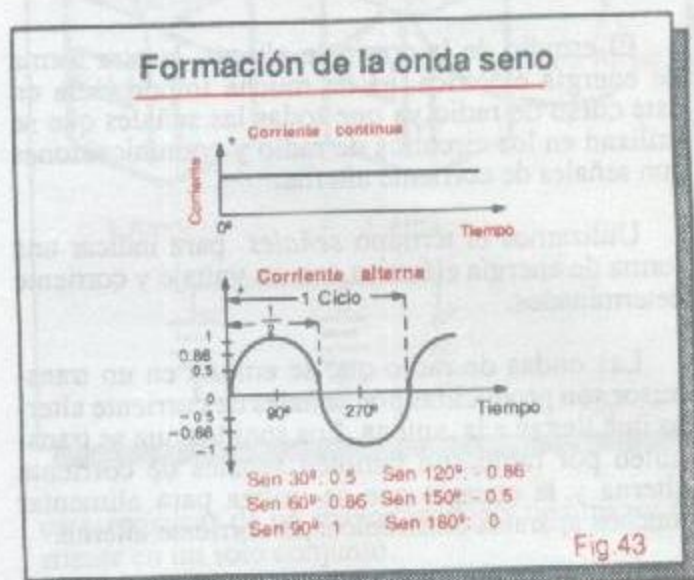
### La onda seno

La forma más generalizada de corriente alterna en los circuitos de radio y comunicaciones es la onda seno o senoidal.

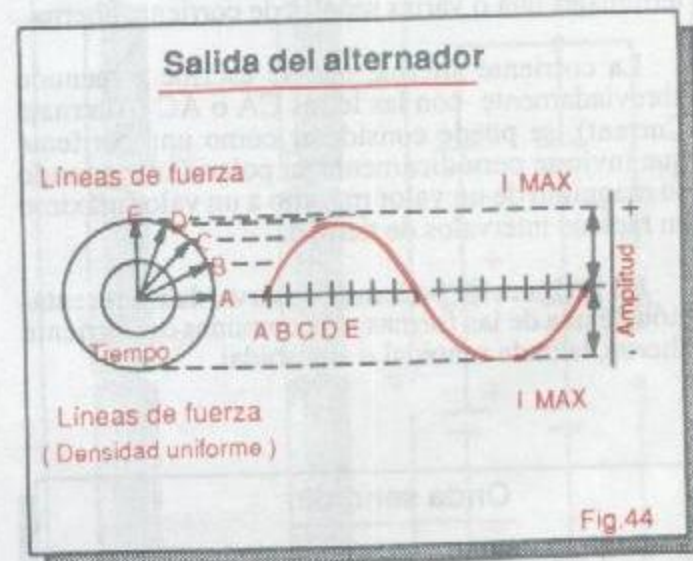
Para entender mejor de dónde sale la forma de onda seno, debemos saber primero que una circunferencia se puede dividir en 360 segmentos o pedazos llamados grados.

Así, un cuarto de circunferencia son  $90^\circ$ , media circunferencia son  $180^\circ$  y así hasta completar el círculo completo con los  $360^\circ$ , llegando al mismo punto de partida o sea  $0^\circ$ . Como su nombre lo indica, su valor se toma de la función trigonométrica *seno*. Para obtener la gráfica se va tomando el valor del ángulo de rotación de un eje en una circunferencia, o sea  $360^\circ$ . Para cada ángulo se toma

el valor del seno y se va colocando en el eje X. Uniendo los puntos obtenemos la gráfica para un ciclo o vuelta completa. (figura 43).



Esta forma de onda se deriva del método de producción obtenido en los generadores electromagnéticos rotativos, en donde una bobina gira dentro de un campo magnético obteniéndose así mayor o menor voltaje, dependiendo de la posición de la bobina. (figura 44).



Todos los valores por encima del eje horizontal (eje X) son positivos y por debajo del eje X son negativos. Como notamos en la gráfica, la corriente alterna senoidal no cambia bruscamente.

En un tiempo inicial el voltaje es cero, luego empieza a aumentar progresivamente hasta llegar a

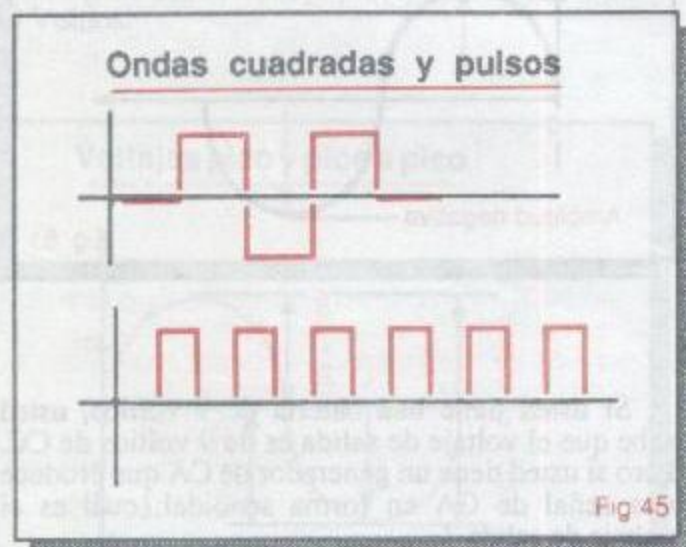


su máximo valor positivo, a partir de este momento empieza a decrecer hasta llegar a cero; en este momento se invierte empezando a hacerse cada vez más negativo, alcanzando su máximo valor negativo, subiendo nuevamente a cero, retornando a su valor positivo, repitiéndose indefinidamente el ciclo.

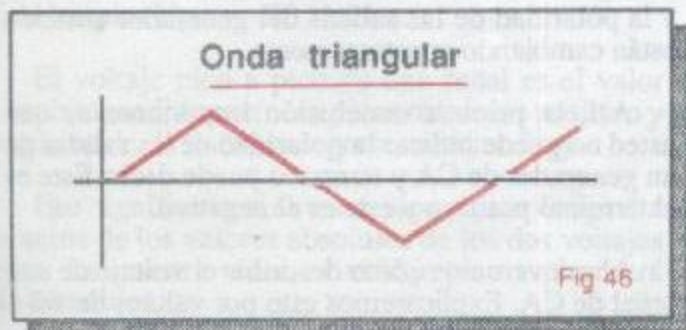
### Otras formas de onda

Otra de las formas más comunes de corriente alterna es la onda cuadrada en la cual los cambios de magnitud de la corriente son bruscos, van desde cero hasta su valor máximo en un período de tiempo muy corto. En la onda cuadrada el semiciclo positivo es igual en duración al semiciclo negativo.

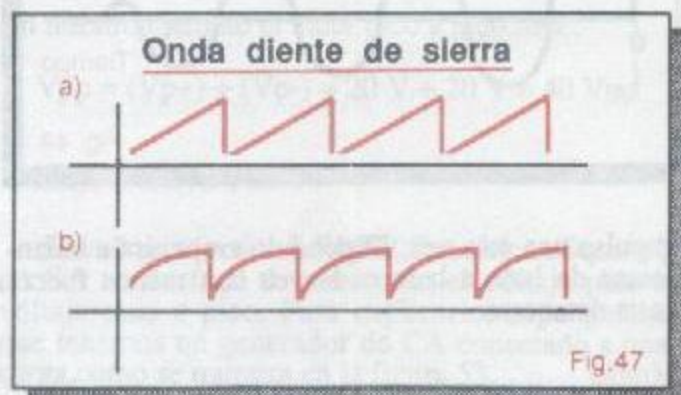
Como una variación de la onda cuadrada se pueden tener señales llamadas pulsos, en donde la duración del semiciclo positivo es menor o mayor que el semiciclo negativo. En la figura 45 se ilustran formas de onda de estos dos tipos.



En una corriente triangular los cambios de la corriente son un poco menos bruscos y siguen una línea recta. (figura 46).

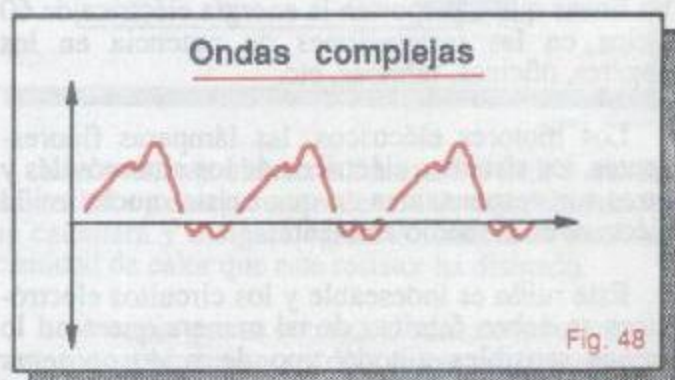


Otra forma de onda muy común en los circuitos de radio y comunicaciones es la onda llamada de diente de sierra, y que se puede presentar en diferentes formas. (figura 47).



Además de estas formas que llamaríamos regulares, ya que siempre conservan la misma forma, existen las formas de onda complejas que no siguen ninguna forma exacta. Este es el caso, por ejemplo, de las señales de audio o sonido que salen de un micrófono y se alimentan a los circuitos amplificadores o transmisores de radio.

En estas formas de onda la amplitud y la frecuencia están variando continuamente. (figura 48).



### Corriente alterna amortiguada

Existe una forma especial de corriente alterna llamada onda amortiguada.

Su polaridad se invierte de la misma forma que en cualquier corriente alterna, pero la diferencia radica en que su magnitud decrece cada vez más con el tiempo, hasta que desaparece totalmente. (figura 49).

Podemos pensar en esta onda como el resultado del movimiento de un péndulo al cual se le aplica un



### Onda amortiguada

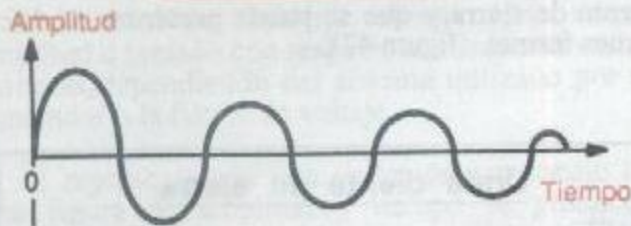


Fig. 49

impulso una sola vez. El péndulo empezará a balancearse de lado a lado, cada vez con menos fuerza, hasta detenerse.

### Ruido

El ruido es una forma de onda irregular, que se presenta en todos los circuitos electrónicos por diferentes causas.

Los componentes electrónicos generan ruido internamente, las señales de radio toman ruido de las descargas eléctricas y de otros fenómenos atmosféricos, llevándolo a los aparatos de radio.

También, se produce una gran cantidad de ruido por el fenómeno de inducción magnética sobre los cables que llevan la corriente y las señales en los aparatos electrónicos. Esta inducción proviene de las líneas que transportan la energía eléctrica de 60 ciclos, en las instalaciones de potencia en los hogares, oficinas, fábricas, etc.

Los motores eléctricos, las lámparas fluorescentes, los sistemas eléctricos de los automóviles y otros, son responsables de que exista mucho ruido eléctrico en el medio ambiente.

Este ruido es indeseable y los circuitos electrónicos se deben fabricar, de tal manera, que sean lo menos sensibles a todo tipo de ruidos o tener sistemas para eliminarlo.

Aunque este ruido es muy débil, se puede volver muy grande si se amplifica junto con las señales de un micrófono, por ejemplo, o con la señal muy débil de una emisora lejana de radio en onda corta. (figura 50).

### Amplitud

La amplitud de una señal de corriente alterna es el tamaño o nivel que alcanza la onda en su punto o valor máximo con respecto al valor cero. (figura 51). La amplitud puede ser positiva o negativa, según el valor de la onda en un momento dado.

### Señales y ruido

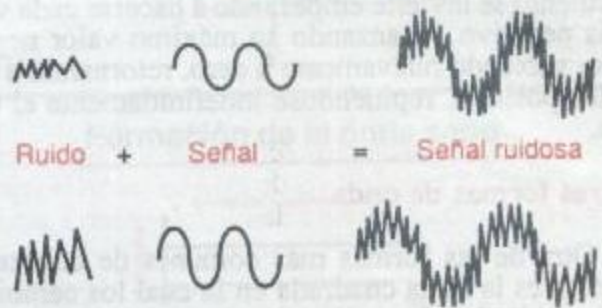


Fig. 50

La amplitud de una señal de corriente alterna se relaciona directamente con el voltaje y existen diferentes formas de expresarla o medirla.

### Amplitud de una onda

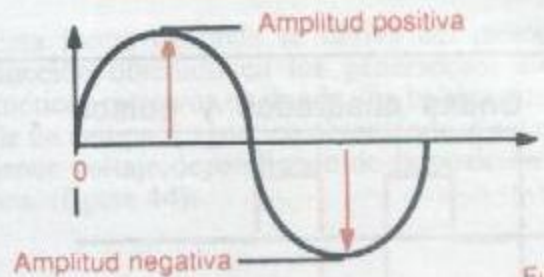


Fig. 51

Si usted tiene una batería de 9 voltios, usted sabe que el voltaje de salida es de 9 voltios de CC. Pero si usted tiene un generador de CA que produce una señal de CA en forma sinusoidal, ¿cuál es el voltaje de salida?

Usted puede decir: No sé, porque el voltaje está constantemente cambiando y la polaridad de las salidas también.

Si usted dice esto, es correcto, porque el voltaje de una señal de CA está constantemente cambiando, y la polaridad de las salidas del generador también están cambiando constantemente.

Así, la primera conclusión importante es que usted no puede indicar la polaridad de las salidas de un generador de CA y tampoco puede decir: Este es el terminal positivo y este es el negativo.

Ahora veremos cómo describir el voltaje de una señal de CA. Explicaremos esto por valores de vol-



taje. Pero esta explicación es también válida en CA para corriente y potencia.

Existen diferentes formas de expresar el valor o voltaje de una señal de CA, dependiendo de la parte de la onda que se mida.

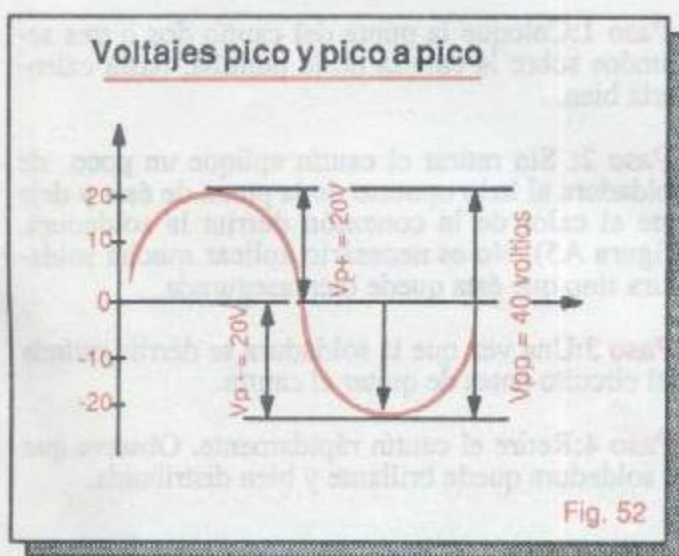
En radio y en electrónica, en general, es muy importante determinar cuál de estos valores se está expresando en un momento dado.

Los principales valores para una señal de CA son el voltaje pico, el voltaje pico a pico, el voltaje efectivo o RMS y el voltaje promedio.

### Valores de voltaje pico y pico a pico

El valor pico de una señal de corriente alterna, es el valor máximo de amplitud que alcanza una señal en un momento dado. Este valor puede ser positivo o negativo.

El voltaje pico positivo de una señal CA es el valor más positivo de voltaje, y se representa como  $V_p$ . Por ejemplo, en la señal de CA que se muestra en la figura 52, el voltaje pico positivo es:  $V_{p+} = 20$  Voltios.



En cambio, el voltaje pico negativo de una señal de CA es el valor más negativo del voltaje. En nuestro ejemplo:  $V_{p-} = -20$  Voltios.

El voltaje pico a pico de una señal es el valor absoluto, medido entre los picos máximos positivo y negativo de la onda; se representa como  $V_{pp}$ .

Eso significa que el valor pico a pico es igual a la suma de los valores absolutos de los dos voltajes pico. En nuestra señal, el voltaje pico a pico será de 40 voltios.

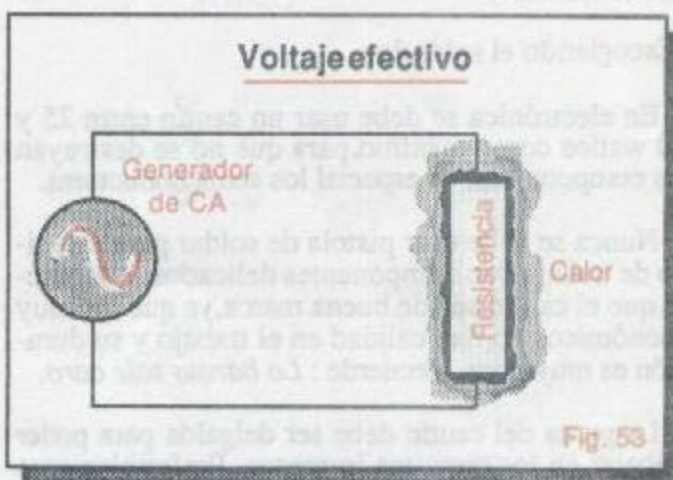
Valor absoluto es aquel que sólo tiene en cuenta la magnitud de la señal pero no su signo o polaridad. Por ejemplo, para un voltaje pico negativo de -20 Voltios, el valor absoluto será de 20 Voltios. El signo menos desaparece y en una cantidad positiva el valor absoluto es la misma cantidad.

En nuestro ejemplo el valor pico a pico será:

$$V_{pp} = (V_{p+}) + (V_{p-}) = 20 \text{ V} + 20 \text{ V} = 40 \text{ V}_{pp}$$

### Voltaje efectivo o RMS

El voltaje efectivo o RMS (Root Mean Square) de CA no es fácil de ver, como el voltaje pico o voltaje pico a pico. Para explicarlo, supongamos que tenemos un generador de CA conectado a una carga, como se muestra en la figura 53.



Una corriente alterna comenzará a fluir a través del resistor y como consecuencia de esto, el resistor se calentará y disipará calor. Ahora, mediremos la cantidad de calor que este resistor ha disipado.

La energía que se entrega al resistor no es constante sino que aumenta y disminuye por ser una señal de CA.

Por esta razón el calor trata de subir y bajar, siguiendo las variaciones de la señal de voltaje.

Estas variaciones hacen que la energía efectiva de calor sea menor que si se aplicara un voltaje constante o de CC, con valor igual al valor pico o máximo de la señal de CA.

El valor del voltaje efectivo con esta señal de corriente alterna es igual al valor del voltaje en corriente continua, que aplicado por un minuto a este circuito, producirá la misma disipación de calor que la corriente alterna.



## Actividad práctica Nº 3

Para realizar esta práctica usted debe tener todas las puntillas correctamente aseguradas en el tablero del radio según la actividad anterior.

### Herramientas y materiales necesarios

1 Cautín de 25 o 40 W para uso en electrónica

1 pedazo de soldadura de estaño de 60/40

### La soldadura en la práctica electrónica

Es indispensable para todas las personas que trabajen con electrónica a nivel experimental, de estudio o aficionados, saber soldar correctamente. De esta habilidad depende en gran parte el éxito, el correcto funcionamiento de los circuitos y aparatos que se armen.

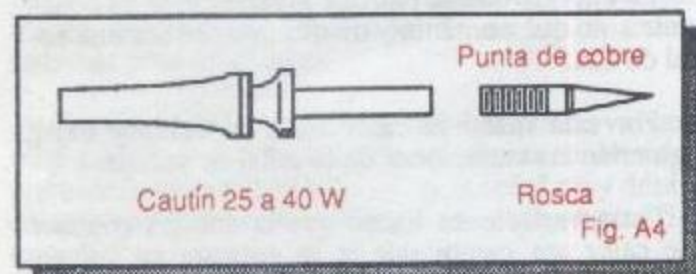
### Escogiendo el soldador

En electrónica se debe usar un cautín entre 25 y 40 vatios como máximo, para que no se destruyan los componentes, en especial los semiconductores.

Nunca se debe usar pistola de soldar para este tipo de trabajo con componentes delicados. Asegúrese que el cautín sea de buena marca, ya que los muy económicos no dan calidad en el trabajo y su duración es muy poca. Recuerde: *Lo barato sale caro*.

La punta del cautín debe ser delgada para poder trabajar en los circuitos impresos. Preferiblemente que la punta sea atornillable, para poder reemplazarla cuando se desgaste. (figura A4).

La soldadura es un material compuesto por una aleación de estaño y plomo que se funde fácilmente



y hace muy buen contacto eléctrico. La soldadura más recomendada es aquella que tiene una composición o aleación de 60 % de estaño y 40 % de plomo, con un espesor de 1/2 o 1 milímetro.

La función del cautín es calentar la conexión.

Luego el calor de la conexión debe fundir la soldadura. Es *obligatorio* que las superficies que se van a soldar estén perfectamente limpias. Para soldar correctamente se deben seguir dos pasos simples en orden que son:

**1º** Caliente primero muy bien las superficies antes de aplicar la soldadura. *Este es el paso más importante en el proceso de soldar. Caliente bien y la soldadura se pega sola.*

**2º** Luego derrita la soldadura sobre cada una de las partes a soldar, hasta que esta y las partes formen una sola pieza.

Vamos ahora a realizar nuestra primera práctica de soldadura, estañando las cabezas de las puntillas de cobre.

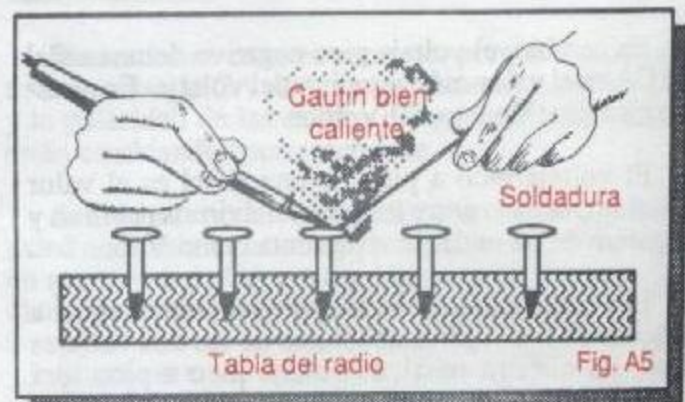
Antes de soldar limpie muy bien las cabezas de las puntillas para que queden libres de grasa, polvo u óxido. Caliente el cautín por lo menos unos 15 minutos antes de empezar a soldar y realice los siguientes pasos para cada una de las puntillas del tablero del radio:

**Paso 1:** Coloque la punta del cautín dos o tres segundos sobre la cabeza de la puntilla, hasta calentarla bien.

**Paso 2:** Sin retirar el cautín aplique un poco de soldadura al lado opuesto de la punta de éste y deje que el calor de la conexión derrita la soldadura. (figura A5). No es necesario aplicar mucha soldadura sino que ésta quede bien asegurada.

**Paso 3:** Una vez que la soldadura se derrita, retírela del circuito antes de quitar el cautín.

**Paso 4:** Retire el cautín rápidamente. Observe que la soldadura quede brillante y bien distribuida.





Podemos definir el voltaje efectivo o RMS de una señal de CA como el valor causado por la misma fuerza al ser disipada en un resistor, como un voltaje de CC equivalente. El voltaje RMS es, en otras palabras, el voltaje útil y aprovechable. El valor del voltaje efectivo, depende de la forma de onda de la señal. No podemos dar una fórmula para calcular el valor del voltaje efectivo de todas las formas de onda. Como la forma de onda senoidal es la más utilizada, daremos la fórmula para calcular el voltaje RMS o efectivo para este tipo de señal.

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad \text{Como } \sqrt{2} = 1.41$$

$$V_{rms} = \frac{V_p}{1.41} = V_{rms} = 0.707 \times V_p$$

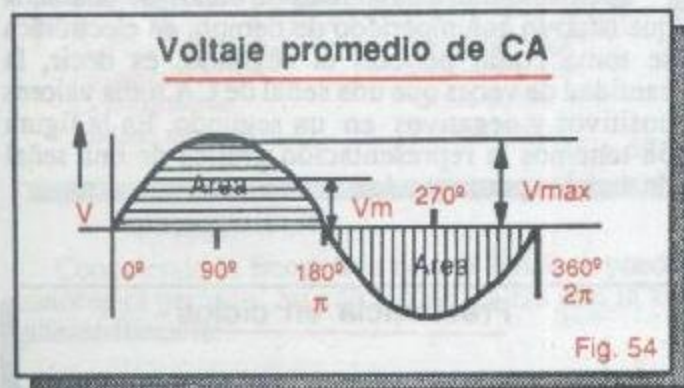
Así:  $V_{rms} = 0.707 V_p$

$$V_p = 1.41 \times V_{rms}$$

### Valor de voltaje promedio

Existe otra forma de expresar el voltaje de una señal de corriente alterna que se llama *valor promedio*.

Este valor se obtiene dividiendo el valor del área del semiciclo por su base. (figura 54).



Haciendo varios cálculos matemáticos se obtiene que el valor del voltaje promedio, que se expresa como  $V_m$ , será:

$$V_m = 0.637 \times V_p$$

Ahora, usted se pregunta: ¿Cuando medimos un voltaje de CA con el multímetro, qué voltaje de la señal mediremos?. El  $V_p$ , el  $V_{pp}$ , el voltaje efectivo o el valor promedio?

El multímetro corriente o voltímetro, mide el voltaje efectivo o RMS de la señal.

El siguiente ejemplo le ayudará a entender mejor la relación entre las diferentes formas de medir un voltaje de CA, el  $V_{rms}$ , el  $V_p$  y el  $V_{pp}$ .

En la salida de un tomacorriente de su casa debe tener una señal de CA de 117 voltios. Si toma su multímetro y mide el voltaje, leerá en el aparato los 117 voltios de CA aproximadamente.

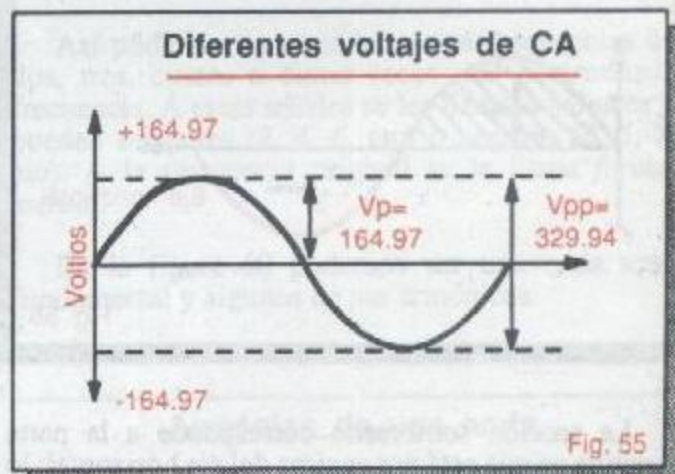
Ya que el multímetro mide voltaje efectivo o RMS y la forma de onda de la CA que usted tiene es una onda senoidal, usted puede calcular el voltaje pico de ésta, como sigue:

$$V_p = 1.41 \times V_{rms} = 1.41 \times 117 = 164.97 \text{ V}$$

También usted puede calcular el valor del voltaje pico a pico:

$$V_{pp} = 2 \times V_p = 2 \times 164.97 = 329.94 \text{ Voltios pico a pico}$$

Por eso la representación del voltaje de la señal de CA que usted tiene en la salida de pared será como muestra la figura 55.



Los instrumentos eléctricos y electrónicos están fabricados para medir el voltaje o la corriente de una determinada forma ya sea pico, pico a pico o RMS y para una forma de onda específica.

Por lo general los voltímetros y amperímetros comunes de CA están hechos para medir el voltaje efectivo o RMS en ondas senoidales.



Para medir voltajes pico, o pico a pico en ondas senoidales o en otras formas de onda, se utiliza el *osciloscopio*, instrumento que estudiaremos en una próxima lección.

Existen voltímetros especiales para medir voltaje RMS en formas de onda que no son senoidales.

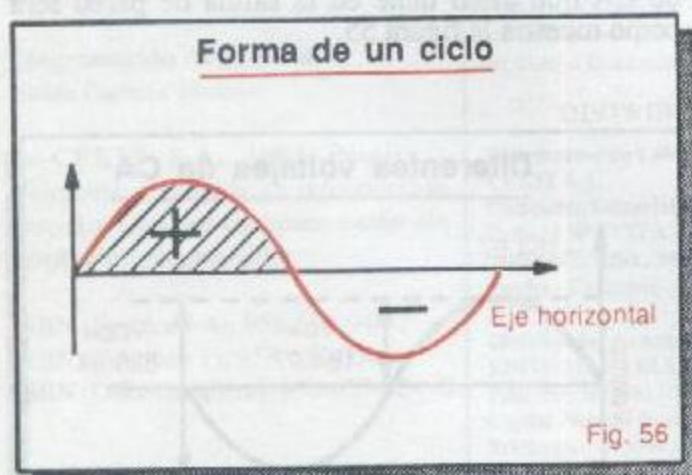
Antes de estudiar las características de frecuencia y relación de fase en señales de CA, estudiaremos algunos términos necesarios para entender mejor estas características.

## El ciclo

En términos generales un ciclo es una serie de fenómenos que suceden en un tiempo determinado. Los meses del año constituyen un ejemplo de la repetición cíclica.

El ciclo se comienza en Enero, se continúa a través de los meses restantes y termina en Diciembre que es el último mes del año. Tan pronto se cierra un ciclo anual, de inmediato se abre el siguiente y así sucesivamente.

Ahora analicemos el período cíclico de una onda senoidal. Como ya sabemos una onda senoidal está conformada por dos curvas iguales contrapuestas, la cual se repite indefinidamente, (figura 56).



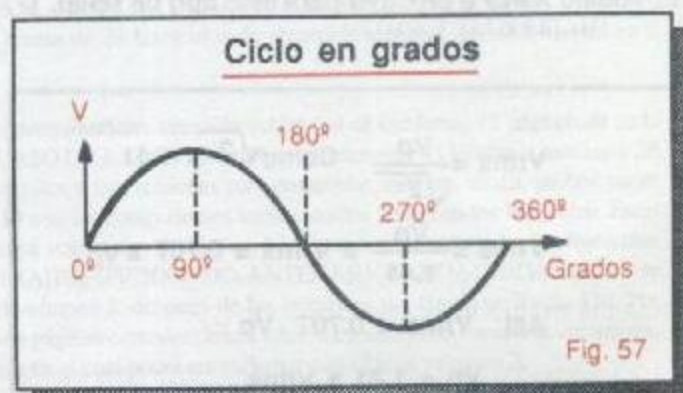
La sección sombreada corresponde a la parte positiva ya que está por encima del eje horizontal; lo no sombreado es la parte negativa por estar debajo del eje horizontal. Si partimos del punto A y recorremos la onda hasta llegar al punto B, hemos completado un *ciclo*.

Un ciclo está compuesto por dos mitades de ciclos llamadas semiciclo positivo y semiciclo negativo. Hasta ahora hemos dicho que sobre el eje horizontal representamos el tiempo, el cual lo hemos

dividido en milisegundos debido a que los cambios que se suceden en una onda ocurren en milésimas de segundo y en tiempos aún más cortos.

## Expresando el ciclo en grados

La longitud del ciclo se mide en segundos, pero también se puede medir en grados de rotación. La longitud de un ciclo es  $360^\circ$ . (figura 57).

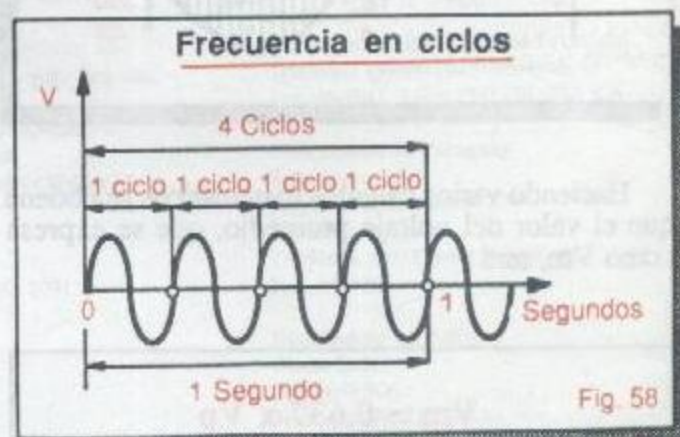


La medida en grados se deriva de su relación con el giro mecánico de los generadores de corriente alterna. Cada que un alternador da un giro de  $360^\circ$  eléctricos, genera un ciclo completo de CA.

Si el alternador gira más rápido, se producirá mayor cantidad de ciclos, o sea el tiempo de duración de cada ciclo es más corto.

## Frecuencia

*Frecuencia* es la cantidad de ciclos de una onda que ocurren en un período de tiempo; en electrónica se toma como período el segundo, es decir, la cantidad de veces que una señal de CA toma valores positivos y negativos en un segundo. En la figura 58 tenemos la representación gráfica de una señal de 4 ciclos por segundo.





La frecuencia de la tensión generada por un alternador tiene estrecha relación con la velocidad con que éste gira y con el número de polos o imanes con que esté fabricado.

En electrónica se expresa la frecuencia en Hertcios. Un Hertzio equivale a un ciclo por segundo.

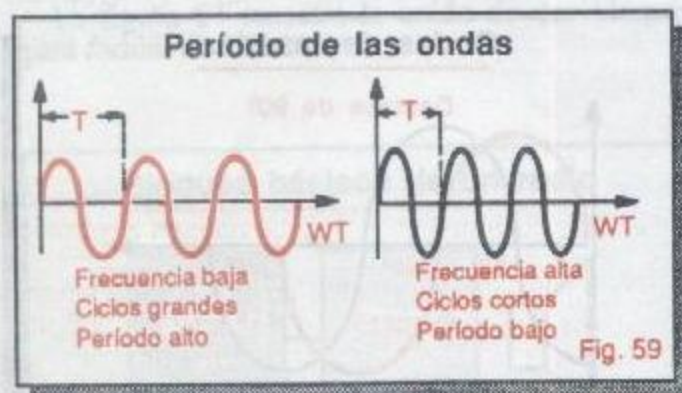
Para cantidades grandes se utilizan los Kilo-hertzios y los Megahertzios y se representan por las abreviaturas KHz y MHz.

Un KHz es igual a 1.000 ciclos por segundo y 1 MHz es igual a 1.000.000 de ciclos por segundo.

## Período

Es el tiempo necesario para que ocurra un ciclo completo, o sea el tiempo que transcurre desde que se inicia hasta que finaliza el ciclo.

El período se mide en segundos, milisegundos o microsegundos según sea la frecuencia y se representa con la letra T. Mientras más grande sea la frecuencia de una señal más corto es el período, ya que un ciclo tarda menos tiempo en suceder. (figura 59).



Conociendo la frecuencia de una señal, se puede conocer el período. Su cálculo se realiza con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{1}{F}$$

En donde:

T = Período de la onda dado en segundos.

F = Frecuencia de la onda dada en ciclos por segundo.

## Ejemplo

Un alternador genera 60 ciclos por segundo. ¿Cuál es el período de la onda generada?

$$T = \frac{1}{F}$$

$$T = \frac{1}{60} = 0.0167 \text{ Segundo}$$

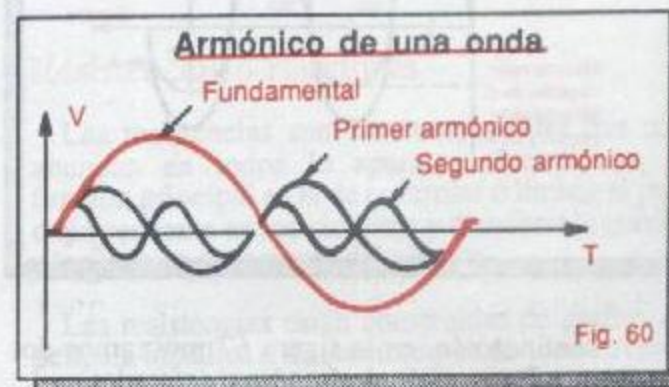
Lo anterior quiere decir, que nuestro alternador tarda 0.0167 segundos o 16.7 milisegundos para generar un ciclo completo. Esto nos da una ligera idea de lo rápido que cambia una onda de CA.

## Armónicos

En los circuitos de CA, sobre todo en los de radio, es muy común encontrar señales que tienen frecuencias con valores que son múltiplos enteros de una frecuencia original.

Así podemos tener señales con frecuencias de dos, tres, cuatro o cinco veces una determinada frecuencia. A estas señales se les llama *armónicos* y pueden ser pares (2, 4, 6, etc) o impares (3, 5, 7, etc). A la frecuencia original se le llama *fundamental*.

En la figura 60 podemos ver una onda seno fundamental y algunos de sus armónicos.





## Relación de fase o Fase

La relación de fase es el tiempo que separa dos hechos que están relacionados entre sí.

Por ejemplo, en una etapa contra reloj en la cual toman parte dos ciclistas llamados A y B, cuando parte el ciclista A ocurre un hecho: su partida; transcurrido un período de tiempo o espera, ocurre otro hecho relacionado: la partida del corredor B.

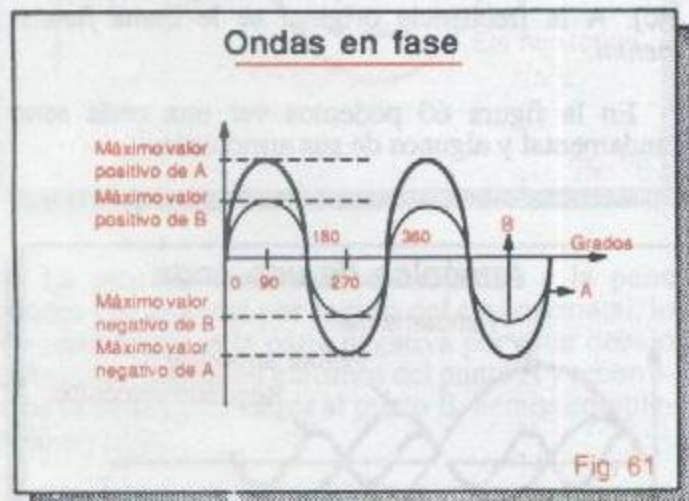
De lo anterior se puede decir que el ciclista A está adelantado en tiempo al ciclista B. Si los dos ciclistas hubieran partido al mismo tiempo y corrieran a la misma velocidad se diría que están en fase. En realidad los dos ciclistas están *desfasados* o *defasados*.

Refiriéndonos a ondas eléctricas, la fase tiene que ver con el adelanto o atraso de una señal u onda con respecto a otra.

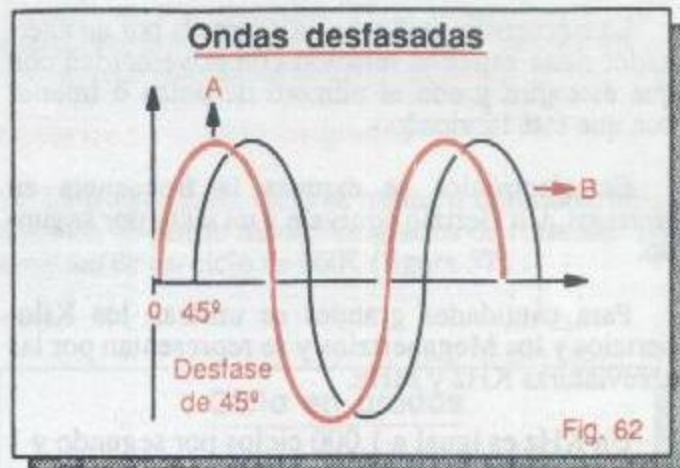
Estas señales bien pueden ser corriente o voltaje. Dos señales están en fase si cumplen las siguientes condiciones:

- Los ciclos o frecuencia son iguales.
- Los valores máximos y mínimos ocurren en el mismo tiempo o ángulo.

La figura 61 muestra dos ondas en fase. Observemos que en  $0^\circ$  el valor de las ondas A y B es cero, para  $90^\circ$  las ondas A y B tienen su máximo valor, para  $180^\circ$  las ondas A y B tienen un valor de cero, para  $270^\circ$  las ondas tienen su máximo valor negativo. En otras palabras las ondas A y B viajan juntas y alternan simultáneamente.



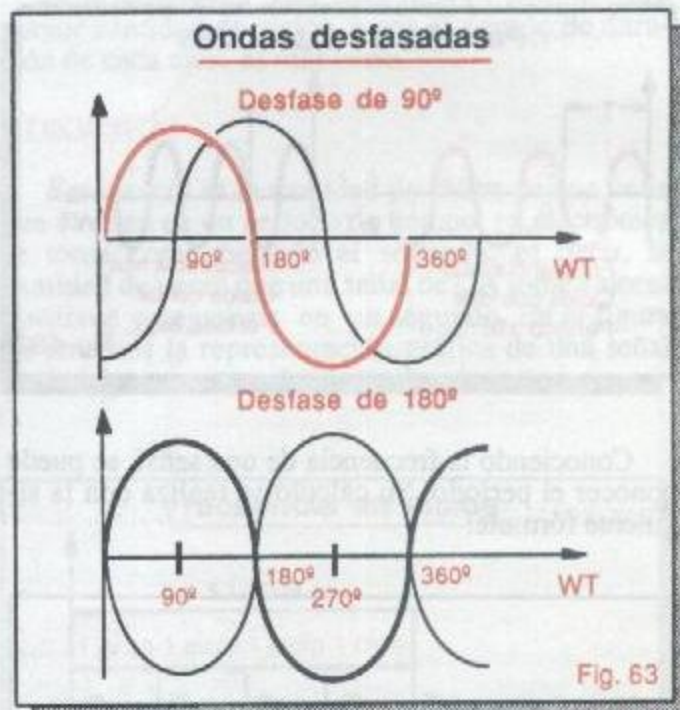
A continuación, en la figura 62 mostramos dos ondas A y B que están desfasadas o defasadas.



La onda A está adelantada  $45^\circ$  con respecto a la onda B, o lo mismo, B está atrasada  $45^\circ$  con respecto a A.

Observemos que las dos ondas toman sus valores máximos y mínimos, cada una en tiempos o ángulos distintos, es decir no cambian al mismo tiempo.

La figura 63 muestra dos ondas desfasadas. En la figura A las ondas tienen un desfase de  $90^\circ$  y en la figura B el desfase es de  $180^\circ$ .



En los circuitos de radio y electrónica donde se aplica corriente alterna a ciertos componentes como los condensadores y las bobinas, ocurren fenómenos de desfase entre la corriente y el voltaje que estaremos estudiando en una próxima lección.



## Los componentes electrónicos

Cuando abrimos un televisor, un betamax, un equipo de sonido, un radio o cualquier aparato electrónico, nos sorprendemos al observar en su interior una gran cantidad de elementos extraños con múltiples formas, colores y tamaños. Son los componentes electrónicos.

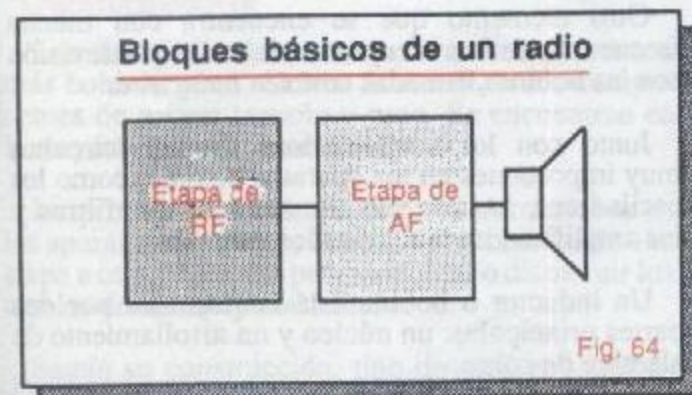
Esto nos causa frustración y pensamos que la electrónica es muy difícil y no es para nosotros.

Pero se trata de una falsa apreciación, en verdad todo esto es muy fácil y está al alcance de todos.

Como se dará cuenta, un equipo electrónico tiene muchos componentes o partes pero éstos son de pocos tipos o grupos; es decir, hay muchos elementos repetidos, además están agrupados en bloques o circuitos que se identifican fácilmente, ya que cada uno cumple una función específica.

Un conjunto de elementos conectados adecuadamente, forman un circuito, uno o más circuitos forman un bloque y varios bloques forman un aparato electrónico.

La figura 64 muestra la unión de dos bloques para formar un radio.



La primera etapa llamada de radiofrecuencia o RF está compuesta por circuitos que se encargan de captar las señales del aire, dejar pasar una sola señal, separar esa señal y obtener los sonidos débiles para entregarla al bloque siguiente, llamado amplificador de audio.

De otra parte el bloque de audiofrecuencia o AF se encarga de recibir la señal del bloque de RF y amplificarla a un nivel adecuado para que pueda ser entregada al parlante.

Los circuitos electrónicos o bloques más utilizados en los aparatos de radio y comunicaciones son: amplificadores de radiofrecuencia, amplificadores de audio, osciladores, sintonizadores, detectores, filtros, controles automáticos de ganancia, rectificadores y reguladores de voltaje.

Todos estos circuitos se forman con los mismos componentes. La diferencia entre cada uno está en la forma como se conectan esos componentes entre sí, y en las señales que se le aplican.

Después de conocer los componentes electrónicos, estudiaremos en detalle cada uno de estos circuitos.

Inicialmente conoceremos los componentes en forma individual, su funcionamiento básico, sus diferentes tipos y su símbolo.

Empecemos entonces por estudiar los componentes más utilizados en los circuitos electrónicos de los aparatos de radio. Los principales son:

- Las resistencias o resistores
- Los condensadores o capacitores
- Las bobinas y los transformadores
- Los diodos o rectificadores
- Los transistores
- Los circuitos integrados
- Los suiches o interruptores
- Los parlantes

Ahora conoceremos brevemente cada uno de estos componentes, con el fin de familiarizarnos con ellos para entender mejor las próximas lecciones.

Más adelante, en este curso, tendremos lecciones completas sobre los componentes más importantes en la teoría del radio, como son los condensadores, las bobinas y transformadores, los diodos, los transistores y los circuitos integrados.

### Resistencias o resistores

Las resistencias son los componentes que más abundan en todos los aparatos electrónicos, su función principal es la de controlar o limitar el paso de la corriente en los circuitos y distribuir la tensión adecuada en cada punto del circuito.

Las resistencias están construidas de grafito, de película metálica o de alambre y se dividen en resis-



tencias fijas y resistencias variables. Las resistencias variables tienen un eje o tornillo que permite cambiar su valor. (figura 65).

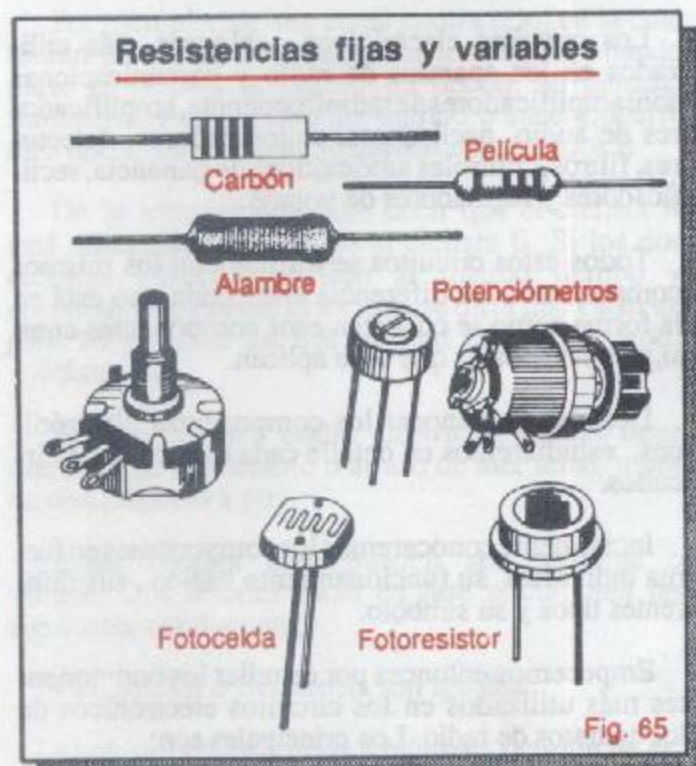


Fig. 65

## Condensadores o capacitores

Los condensadores o capacitores son uno de los conjuntos de componentes más importantes que nunca faltan en todos los aparatos de radio y comunicaciones; se les encuentra en una gran variedad de formas y tamaños.

Un condensador está construido por dos láminas metálicas separadas por un material aislante llamado dieléctrico.

La función principal de un condensador es la de almacenar energía en forma temporal, para luego devolverla al circuito.

Los condensadores se dividen en fijos y variables. Los condensadores fijos se dividen a su vez en condensadores polarizados o electrolíticos y los no polarizados.

Dentro del grupo de los condensadores fijos no polarizados están: los condensadores de políéster, los condensadores de mica, los condensadores de cerámica y los condensadores de papel. (figura 66).

Cada tipo de condensador tiene su aplicación especial, dependiendo del voltaje, la frecuencia y el tipo de señal a manejar.

## Condensadores fijos y variables

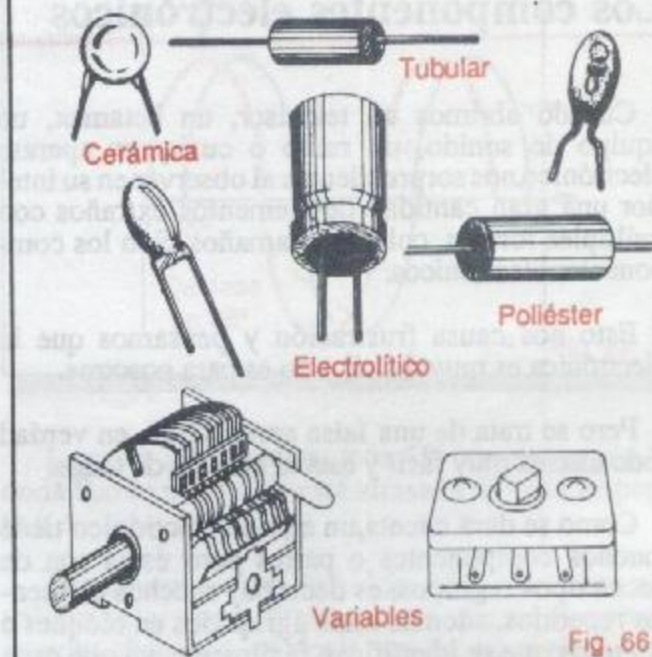


Fig. 66

Por ejemplo, los condensadores variables se utilizan en los circuitos de sintonía de las emisoras de los radios. Los condensadores cerámicos se utilizan para acoplar dos etapas o bloques, y los condensadores electrolíticos se utilizan en las fuentes de alimentación.

## Bobinas

Otro elemento que se encuentra con mucha frecuencia en los receptores de radio y televisión son las bobinas, llamadas también inductores.

Junto con los condensadores forman circuitos muy importantes en los aparatos de radio, como los osciladores, los circuitos de sintonía, los filtros y los amplificadores sintonizados entre otros.

Un inductor o bobina está conformada por dos partes principales: un núcleo y un arrollamiento de alambre de cobre.

De hecho esto origina una extensa variedad de tipos, formas y tamaños de bobinas, cada una con una aplicación muy concreta, dependiendo del tipo de señal a manejar, la frecuencia y la magnitud de la corriente.

## Tipos de bobinas

De acuerdo con el material utilizado como núcleo, estas pueden ser: con núcleo de hierro, con núcleo de ferrita, o con núcleo de aire.



Por su valor las bobinas pueden ser fijas o variables; una bobina variable tiene un núcleo ajustable que permite que éste esté más cerca o más alejado del arrollamiento de alambre, obteniéndose diferentes valores en su inductancia. (figura 67).

### Bobinas

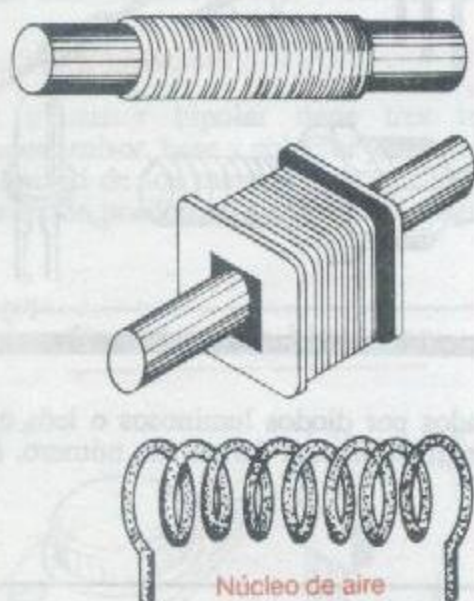


Fig. 67

### Transformadores

Los transformadores están formados por dos o más bobinas y un núcleo. Son uno de los componentes de mayor tamaño y peso. Se encuentran en la mayoría de los aparatos de radio.

La principal función de los transformadores en los aparatos de radio es la de acoplar la señal de una etapa a otra, y también para aumentar o disminuir los niveles de voltaje y corriente.

Según su construcción, tipo de núcleo y aplicación, se encuentran en diferentes tipos. (figura 68).

En un transformador existe una bobina que recibe la señal llamada *primaria* y una o más bobinas que entrega la señal (salidas), llamadas *bobinas secundarias* o secundario. (figura 69).

### Los Semiconductores

Uno de los más grandes avances de la electrónica en las últimas décadas se debe al descubrimiento de los materiales semiconductores.

### Transformadores

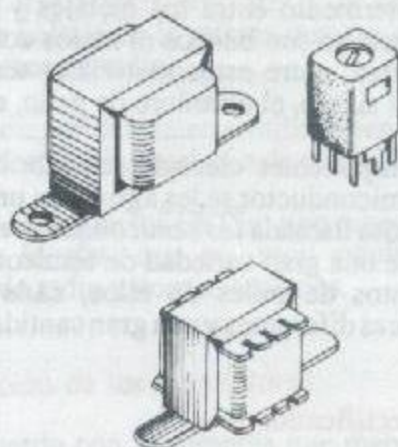


Fig. 68

### Símbolos de los transformadores

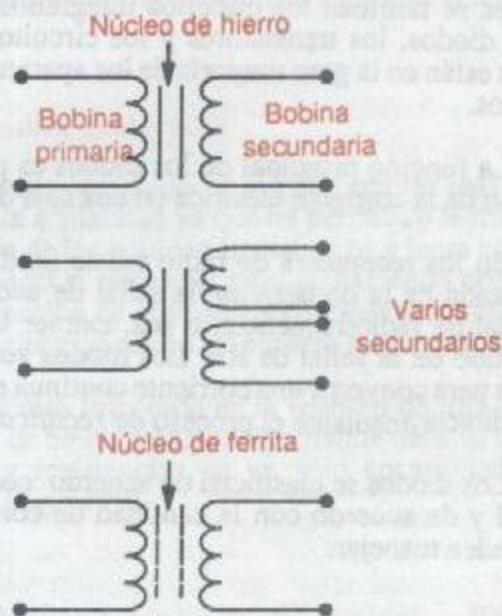


Fig. 69

Este descubrimiento hizo posible la creación de pequeños elementos como los diodos, los transistores y los circuitos integrados, los cuales son más compactos, consumen menos energía, cumplen con exactitud múltiples funciones y duran mucho más que sus antecesores, los tubos de radio.

Utilizando estos componentes como reemplazo de los tubos de radio o tubos de vacío, se han podido construir transmisores y receptores de radio y televisión mucho más avanzados, provocando una verdadera revolución en las comunicaciones humanas.



## Qué son los semiconductores

Los semiconductores son materiales que ocupan un lugar intermedio entre los metales y los aisladores, es decir no son buenos ni malos conductores de electricidad; entre estos materiales tenemos: el germanio, el silicio, el arseniuro de galio, etc.

A los componentes electrónicos fabricados con material semiconductor, se les agrupa en una familia muy numerosa llamada *los semiconductores*. Actualmente existe una gran variedad de semiconductores, quizás cientos de miles de ellos, cada uno con características diferentes y una gran cantidad de aplicaciones.

### Diodos o rectificadores

Son los componentes electrónicos más simples, fabricados con material semiconductor y tienen dos terminales conocidos como cátodo y ánodo.

El diodo es muy importante ya que, con dos de ellos se fabrica un transistor, y con muchos transistores se fabrican los circuitos integrados. Además los diodos, los transistores y los circuitos integrados están en la gran mayoría de los aparatos electrónicos.

La función principal de los diodos es permitir el paso de la corriente eléctrica en una sola dirección.

En los receptores de radio existe un diodo cuya función es la de *detectar* la señal de audio de una señal de radiofrecuencia, o sea, extraer la señal de sonido de la señal de RF. Los diodos son empleados para convertir una corriente continua en corriente directa, mediante el proceso de *rectificación*.

Los diodos se clasifican de acuerdo con su material y de acuerdo con la cantidad de corriente que pueden manejar.

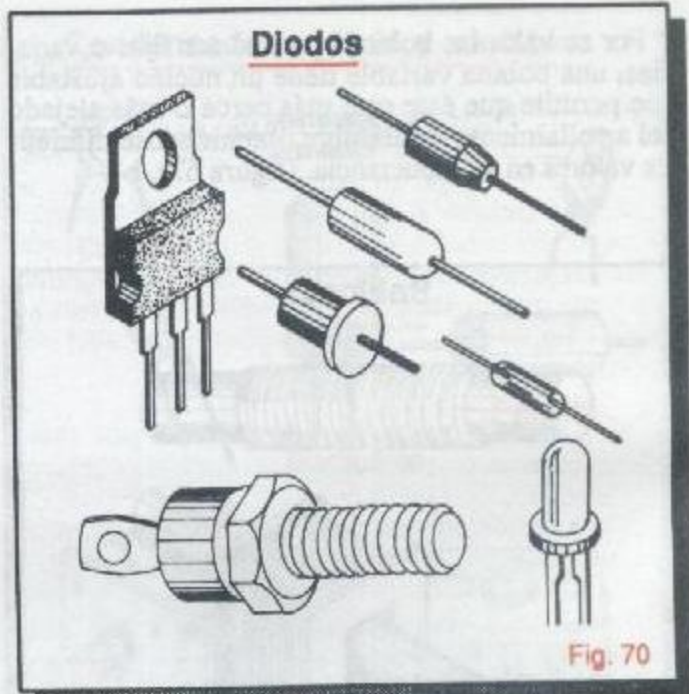
### Tipos

Los tipos más importantes de diodos son: el diodo rectificador, el diodo detector, el diodo zener, el diodo led o diodo emisor de luz, el fotodiodo y el SCR o rectificador controlado de silicio. (figura 70).

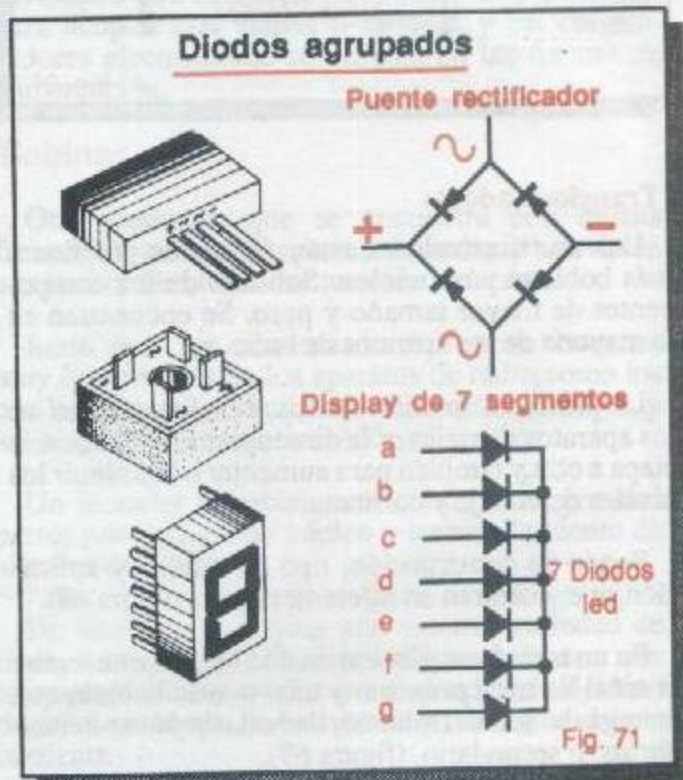
Cada uno de estos tiene una tarea específica, la cual explicaremos en su lección correspondiente.

Es frecuente encontrar en un solo empaque varios diodos; es el caso de los puentes rectificadores que traen internamente 2 a 4 diodos.

Igualmente sucede con los displays visualizadores numéricos de las calculadoras, éstos están



conformados por diodos luminosos o leds, que hacen de segmentos para formar un número. (figura 71).



### Los Transistores

El transistor es el reemplazo de los tubos de vacío y fue el que marcó el inicio de la revolución de la electrónica.

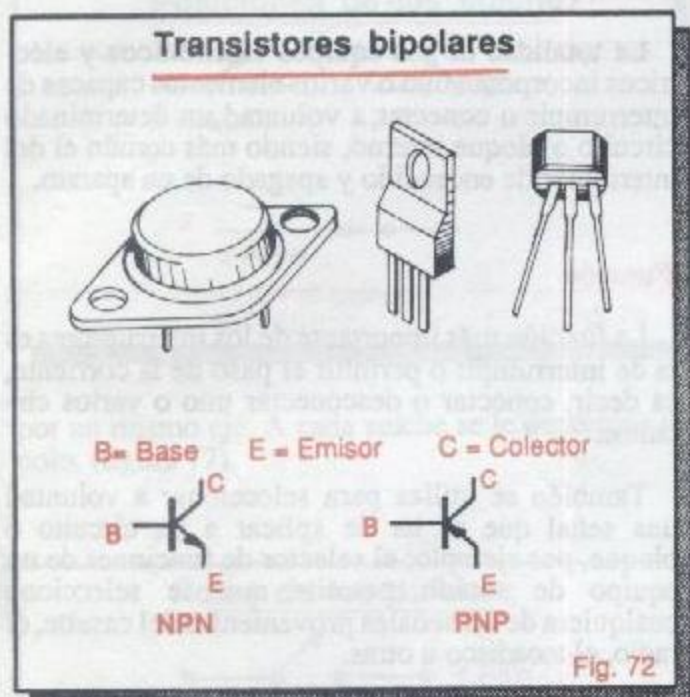


El transistor consume poca energía, tiene una larga duración, sólida construcción y resiste las vibraciones. Tiene la cualidad de oscilar, operar como mezclador, modulador y suiche. Además, opera a altas temperaturas, resiste los choques, es pequeño y liviano.

Un transistor es un elemento de estado sólido que tiene tres terminales y se divide en dos grandes grupos: transistores bipolares y transistores FET.

### Transistores bipolares

Un transistor bipolar tiene tres terminales llamados emisor, base y colector y, dependiendo de la polaridad de los materiales empleados para su construcción, pueden ser NPN o PNP. (figura 72).



### Función de los transistores

A partir de una pequeña corriente de control que se aplica a la base, se obtiene una corriente amplificada en su salida.

Esta corriente permite que el transistor amplifique una señal, actúe como suiche, o pueda oscilar en conjunto con una bobina y un condensador para producir señales de radio o de audiofrecuencia.

### Transistores FET ( Field Effect Transistor )

Llamados también transistores de efecto de campo, tienen tres terminales llamados: Drenador (Drain), fuente (Source) y compuerta (Gate).

Los transistores tipo FET se fabrican también con material semiconductor, pero su forma es diferente a la de los transistores bipolares y se controlan por medio de voltaje, de la misma manera que se hacía con los tubos de radio.

Dependiendo del material utilizado en su construcción, pueden ser de canal N, o de canal P.

Existe dentro de los FET un tipo especial llamado transistor *Mosfet*, que es muy empleado en los aparatos de radio y comunicaciones.

### Clasificación de los transistores

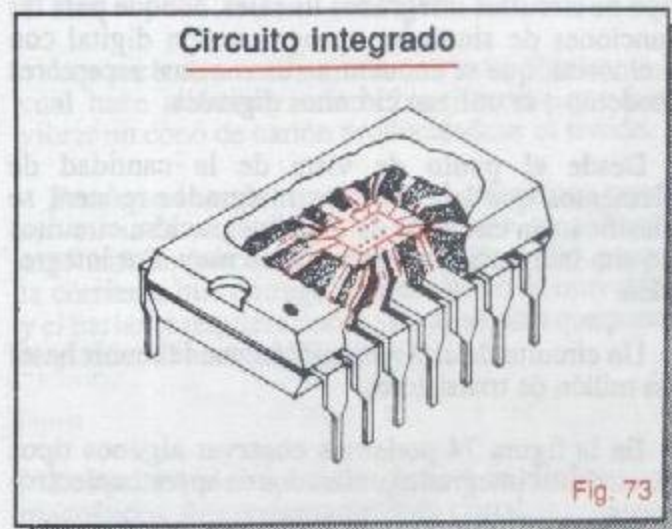
De acuerdo con la potencia que maneja un transistor puede ser de baja potencia, mediana potencia y alta potencia.

De acuerdo con la frecuencia y el tipo de señales, pueden ser de baja frecuencia para aplicaciones en circuitos de sonido o audio, y de alta frecuencia para circuitos de radiofrecuencia (RF) y video o televisión.

### Los Circuitos Integrados

El circuito integrado es el componente más popular en la actualidad ya que ha permitido la miniaturización de los equipos electrónicos, y junto con él se ha creado la microelectrónica, haciendo posible la construcción de novedosos sistemas y complejos aparatos electrónicos en un espacio muy reducido.

Un circuito integrado es la reunión de una gran cantidad de elementos, principalmente diodos, transistores y resistencias, en un sólo encapsulado o paquete. (figura 73).





Con un circuito integrado se pueden conformar uno o más bloques completos de un aparato de radio, sonido o televisión, razón por la cual ha reducido enormemente el tamaño de los equipos actuales.

Los circuitos integrados han facilitado enormemente la fabricación y reparación de los aparatos electrónicos.

### Función

Las funciones que desempeñan los circuitos integrados no tienen límites, ya que se fabrican integrados para cada función específica que se necesite.

Existen, por ejemplo, circuitos integrados que conforman un circuito amplificador de sonido completo, existen otros que forman un oscilador, otros reguladores de voltaje, controles de temperatura, memorias de computadores, microprocesadores, etc.

### Tipos

Desde el punto de vista de su aplicación existen dos grandes grupos de circuitos integrados: los circuitos integrados digitales y los circuitos integrados análogos o lineales.

Un circuito integrado digital maneja señales digitales, es decir, sólo admite una señal que toma los dos valores posibles: uno y cero, o alto y bajo.

Un circuito integrado análogo o lineal maneja señales que varían en el tiempo, tomando diferentes valores. Las ondas de radio que llegan a la antena son análogas, lo mismo que el sonido que entrega un parlante.

La mayoría de los circuitos de radio utilizan este tipo de circuitos integrados lineales, aunque para las funciones de sintonía y programación digital con memorias, que se encuentran en muchos receptores modernos, se utilizan circuitos digitales.

Desde el punto de vista de la cantidad de elementos que los circuitos integrados reúnen, se clasifican en circuitos de baja integración, circuitos de alta integración y circuitos de muy alta integración.

Un circuito de alta integración puede reunir hasta un millón de transistores.

En la figura 74 podemos observar algunos tipos de circuitos integrados, utilizados en aparatos electrónicos.

## Tipos de Circuitos Integrados

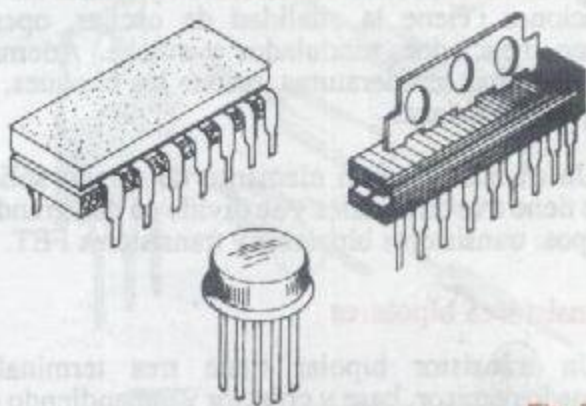


Fig. 74

## Suiches o interruptores

La totalidad de los equipos electrónicos y eléctricos incorporan uno o varios elementos capaces de interrumpir o conectar, a voluntad, un determinado circuito o bloque interno, siendo más común el del interruptor de encendido y apagado de un aparato.

### Función

La función más importante de los interruptores es la de interrumpir o permitir el paso de la corriente, es decir, conectar o desconectar uno o varios circuitos.

También se utiliza para seleccionar a voluntad una señal que se ha de aplicar a un circuito o bloque, por ejemplo: el selector de funciones de un equipo de sonido permite que se seleccione cualquiera de las señales provenientes del cassette, el radio, el tocadisco u otras.

En los aparatos de radio se utilizan con gran frecuencia los suiches, en el caso de selección de las diferentes bandas y otras funciones.

### Tipos

Los principales tipos de suiches son: deslizantes, de palanca, de codillo, pulsadores, rotatorios, electromagnéticos o relés, de mercurio, de imán y de estado sólido. (figura 75).

Respecto al número de contactos pueden ser de una posición, dos posiciones, tres posiciones, cuatro posiciones o más. (figura 76).

Pueden existir suiches independientes eléctricamente pero que son accionados simultáneamente



## Suiches o interruptores

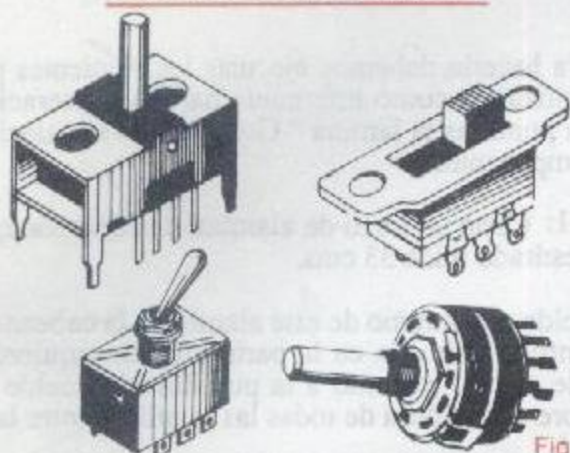


Fig. 75

## Posiciones de los suiches

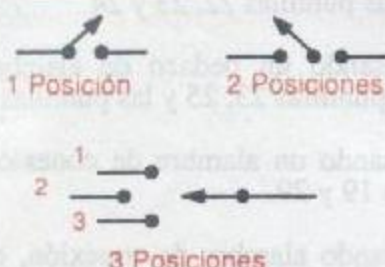


Fig. 76

por un mismo eje. A cada suiche se le denomina un polo. (figura 77).

## Polos de los suiches

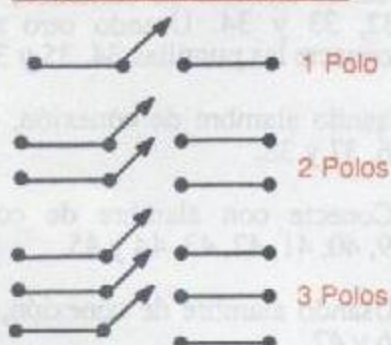


Fig. 77

Un suiche puede ser de varios polos y varias posiciones en el caso de los suiches rotatorios o deslizantes muy utilizados en los aparatos de radio. Al grupo de suiches llamados pulsadores corresponden los teclados de las calculadoras y los computadores. Un pulsador puede ser normalmente abierto o normalmente cerrado. (figura 78).

## Pulsadores

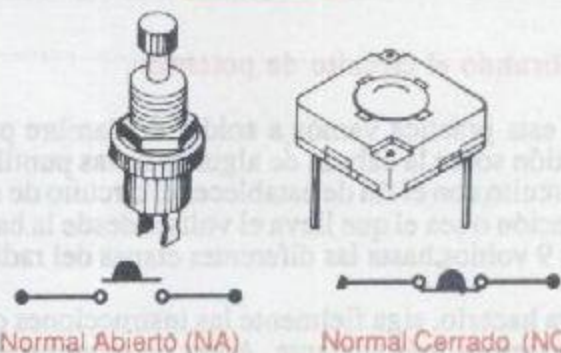


Fig. 78

## Micrófonos y parlantes

Con la invención del micrófono y el parlante se inventó el teléfono y posteriormente el amplificador de audio.

Los micrófonos y los parlantes son elementos transductores que convierten un tipo de energía en otro.

En el caso del micrófono, éste convierte energía sonora o de movimiento de aire en energía eléctrica.

El parlante convierte energía eléctrica en energía sonora. Los parlantes y micrófonos realizan tareas opuestas.

## Función

Los micrófonos captan las vibraciones de las ondas sonoras y las convierte en corriente eléctrica que oscila y varía en la misma forma que el sonido. En las emisoras de radio es de gran importancia la calidad de los micrófonos utilizados, ya que de ellos depende en gran parte la pureza del sonido emitido al aire.

Los parlantes reciben una corriente fluctuante la cual hace alimentar una bobina interna que hace vibrar un cono de cartón produciéndose el sonido.

Para que la señal que capta el micrófono pueda ser enviada al parlante, es necesario amplificarla mediante circuitos amplificadores de audio, ya que la corriente que entrega un micrófono es muy débil y el parlante requiere corrientes altas para que pueda responder al sonido. (figura 79).

## Tipos

Los principales tipos son: de carbón, dinámicos o magnéticos, de condensador y de cristal.



## Actividad práctica Nº 4

### Alambrando el circuito de potencia

En esta práctica vamos a soldar el alambre para conexión sobre la cabeza de algunas de las puntillas del circuito, con el fin de establecer el circuito de alimentación o sea el que lleva el voltaje desde la batería de 9 voltios, hasta las diferentes etapas del radio.

Para hacerlo, siga fielmente las instrucciones que entregaremos más adelante. Antes de empezar esta actividad debemos tener listo el tablero de madera con la lámina del radio, y, sobre él, las puntillas de cobre bien clavadas y estañadas.

Si usted nunca ha soldado antes, estudie o repase la lección sobre soldadura que entregamos en la práctica anterior.

### Herramientas y materiales necesarios

- Cautín de 25 ó 40 vatios
- Cortador de alambre o corta-frío
- Pinzas de punta plana y alicate
- 3 Metros de alambre sólido, sin aislar, para conexiones
- 2 Pedazos de alambre aislado de 15 cms
- 1 Conector para batería de 9 voltios
- 1 Trozo de soldadura de estaño de 60/40

### Alambrando el sistema de alimentación de potencia

En esta actividad conectaremos todos los alambres y partes mostradas en color rojo sobre el diagrama, menos los condensadores C10 y C14 y la resistencia R12, que se instalarán en una próxima actividad.

**Importante:** El alambre debe estirarse lo más que se pueda para lograr una buena presentación y asegurar buena calidad en el ensamble del radio.

En la figura A6 podemos observar el aspecto correcto de cómo deben quedar los alambres de conexión.

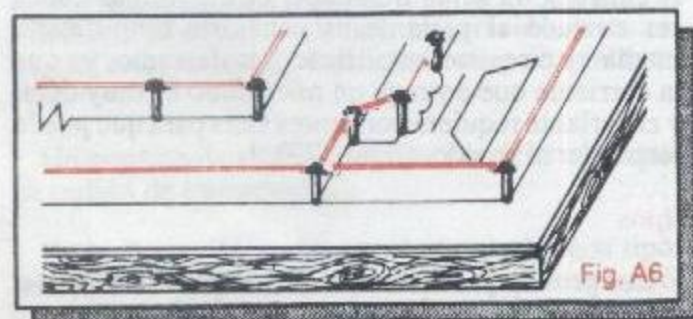


Fig. A6

Para hacerlo, debemos ejecutar los siguientes pasos, utilizando como referencia para la numeración de las puntillas la lámina " Guía para la instalación de componentes ":

**Paso 1:** Corte un trozo de alambre de conexión, que bien estirado mida 33 cms.

Suelde un extremo de este alambre a la cabeza de la puntilla 1, situada en la parte inferior izquierda. Suelde el otro extremo a la puntilla 21. Suelde el alambre a la cabeza de todas las puntillas entre la 1 y la 21.

**Paso 2:** Usando el mismo proceso descrito en el paso anterior, suelde un alambre de conexión entre las puntillas 18 y 22. Suelde otro alambre de conexión entre las puntillas 22, 23 y 24.

**Paso 3:** Usando un pedazo de alambre aislado, conecte las puntillas 23, 25 y las puntillas 26 y 27.

**Paso 4:** Usando un alambre de conexión, conecte las puntillas 19 y 29.

**Paso 5:** Usando alambre de conexión, conecte las puntillas 29 y 31.

**Paso 6:** Usando alambre de conexión, conecte las puntillas 30 y 31.

**Nota:** En este punto usted ya ha conectado la línea negativa de su radio y ahora se conectará la línea de alimentación positiva.

**Paso 7:** Usando alambre de conexión, conecte las puntillas 32, 33 y 34. Usando otro alambre de conexión, conecte las puntillas 34, 35 y 36.

**Paso 8:** Usando alambre de conexión, conecte las puntillas 36, 37 y 38.

**Paso 9:** Conecte con alambre de conexión las puntillas 39, 40, 41, 42, 43, 44 y 45.

**Paso 10:** Usando alambre de conexión, conecte las puntillas 46 y 47.

**Paso 11:** Tome B1, el borne para la batería. Conecte el alambre negro en la puntilla 28 y el rojo a la puntilla 32.

Usted puede pegar la batería a la tabla con un pedazo de cinta de doble cara, o unir la batería a la tabla, usando una abrazadera o soporte para batería. Si no está provista se puede hacer de una pequeña faja de lámina de acero inoxidable.



## Amplificador para micrófono



Fig. 79

Respecto a los parlantes los principales tipos son: el magnético y el de cristal.

Existen tipos de parlantes especiales, como los audífonos, que están contruidos para entregar baja potencia y alta calidad de sonido.

Respecto a la frecuencia o tonos que los parlantes manejan se clasifican en tres grupos: parlantes para bajos, parlantes para medios, y parlantes para sonidos altos o *tweeters*. (figura 80).

## Parlantes y audífonos



Fig. 80

Los parlantes también se clasifican por su potencia en parlantes de baja, media y alta potencia, expresada en vatios.

El tamaño de los parlantes depende de la frecuencia de trabajo y de la potencia sonora que pueden transmitir.

Otra característica de un parlante es la *impedancia* o resistencia de la bobina.

Esta puede ser de 4  $\Omega$ , 8  $\Omega$ , 16  $\Omega$  o 32  $\Omega$ . La potencia nada tiene que ver en este caso con la impedancia.

Para lograr un mejor sonido y buena reproducción de los tonos, los parlantes se deben encerrar en cajas de madera especiales llamadas *baffles*. (figura 81).

Es posible mejorar notablemente el sonido de cualquier aparato de radio solamente conectando un parlante externo con su bafle adecuado.

Para esta conexión se debe tener en cuenta que el radio suministre la potencia mínima para alimentar ese parlante.

## Cajas acústicas o baffles

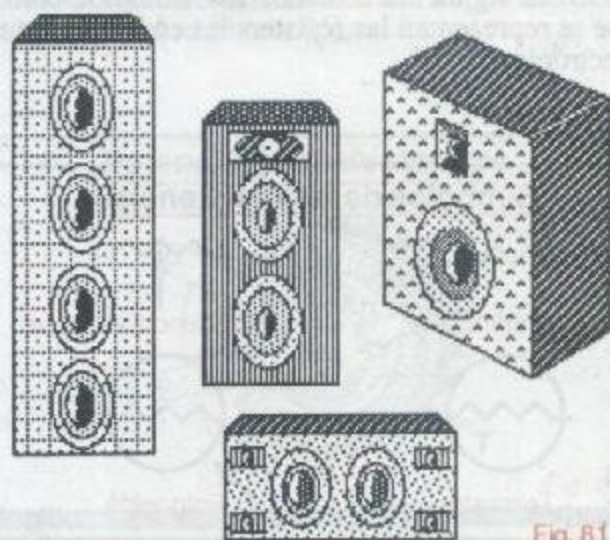


Fig. 81

El tamaño de la caja acústica depende de la potencia total de los parlantes, que están instalados en ella, y también de la frecuencia mínima de trabajo.

Para frecuencias bajas, los baffles son más grandes que para frecuencias medias o altas. Cuando hay varios parlantes para distintas frecuencias se utiliza un filtro para separar cada banda de sonidos.



# Las Resistencias

## Tipos y características

Como se sabe, la resistencia considerada en un sentido general es la oposición que presenta un material al paso de la corriente.

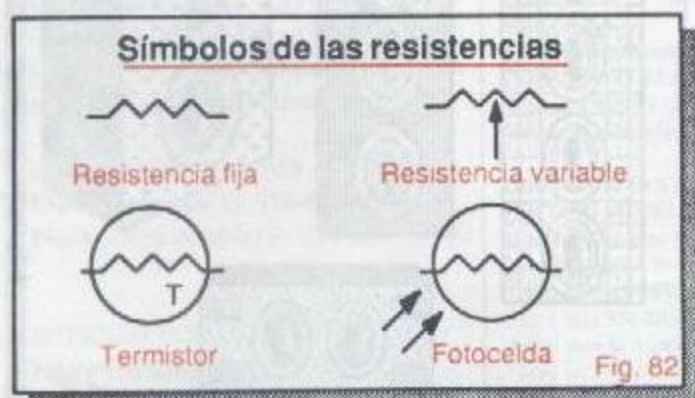
Tomado en un sentido particular y común la palabra resistencia se refiere a un elemento o componente muy utilizado en electricidad y electrónica. Este elemento está construido con un material resistivo y adopta diversas formas y tamaños dependiendo de su uso.

En electricidad las resistencias se utilizan para producir calor. Es el caso de las estufas, hornos, planchas y calentadores eléctricos.

En electrónica las resistencias tienen formas y tamaños más reducidos, y su utilidad está en la propiedad que éstas tienen de limitar y controlar el paso de la corriente, distribuyendo los niveles de voltaje diferentes que requiere cada parte de un circuito.

Existen dos grupos principales de resistencias, las resistencias *fijas* y las resistencias *variables*.

En la figura 82 tenemos los símbolos con los que se representan las resistencias en los diagramas electrónicos.



Al observar los circuitos internos de un radio, un televisor, una grabadora o un betamax, notaremos que siempre habrá una buena cantidad de resistencias interconectadas a los demás elementos del aparato.

Ya habrá notado que hay una gran cantidad de ellas en el plano del radio que usted está armando, como complemento de este curso.

Las resistencias, también llamadas *resistores*, son el elemento o componente más sencillo que se encuentra en los aparatos electrónicos y no por eso deja de ser importante, ya que sin ellas no sería posible que trabajaran los otros componentes.

Las resistencias se miden en *Ohmios* y tienen otra característica adicional que son los *Vatios*. Este valor nos indica hasta cuánta energía calorífica pueden soportar sin dañarse. Existen resistencias de 1/8, 1/4, 1/2, 1, 5, 10, 20, 50 y más vatios en los aparatos electrónicos.

## Resistencias fijas

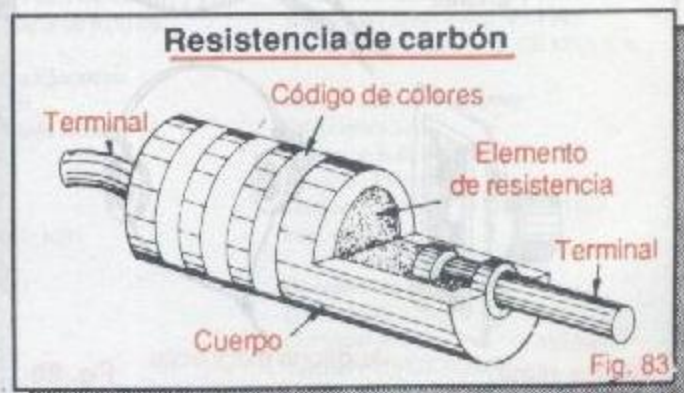
A este grupo pertenecen todas las resistencias que presentan un mismo valor, sin tener la posibilidad de modificarlo a voluntad.

De acuerdo con su material de construcción, las resistencias fijas se clasifican en dos grandes grupos principales: de carbón y de alambre o bobinadas.

## Resistencias de carbón

Estas resistencias se fabrican de grafito (carbón casi puro) o de carbón puro pulverizado. El grafito se mezcla con talco y con un material adhesivo, y se comprime con una prensa para darle forma y consistencia.

Después de que la resistencia ha adquirido su forma, se recubre con una capa de material aislante, que puede ser fibra de vidrio o baquelita, con el fin de obtener un buen acabado y proveerla de aislamiento térmico y eléctrico. (figura 83).





Existe otro método de fabricación de las resistencias de carbón que consiste en recubrir un tubo o cilindro de porcelana con una película de carbón, o haciendo una ranura en espiral sobre la porcelana y recubriéndola luego con la película de carbón, quedando parecida a una bobina.

### Resistencias de alambre

Son resistencias hechas para soportar altas temperaturas sin que se altere su valor.

Se construyen de alambre de micromo u otro material con características eléctricas similares. El alambre se arrolla sobre un núcleo aislante, tal como la cerámica, y luego se recubre con una capa de esmalte vítreo, con el fin de proteger el alambre y la resistencia contra golpes y corrosión. (figura 84).



Fig. 84

Algunas resistencias de este tipo poseen aparte de sus dos terminales, otros contactos intermedios para facilitar un cambio en el ohmiaje, haciendo las veces de varias resistencias en un sólo cuerpo o envoltura.

### Resistencias variables

Son aquellas resistencias cuyo valor en ohmios puede ser variado dentro de un rango, ya sea de forma manual o mediante algún estímulo externo, tal como la luz, el calor, el sonido, el voltaje, etc.

### Los potenciómetros

Los potenciómetros son resistencias variables, cuyo valor en ohmios se puede ajustar a voluntad por medio de un eje o tornillo.

La aplicación más conocida de los potenciómetros la tenemos en los controles de volumen y

tono en los aparatos de radio y de sonido, en el control de brillo y contraste en los televisores y para fines especiales en algunos instrumentos electrónicos.

Los potenciómetros se fabrican depositando una capa de carbón sobre una sección circular o rectangular de fibra o material compacto y aislante. Un eje en el centro permite que un contacto móvil se deslice a través de la sección resistiva. (figura 85).

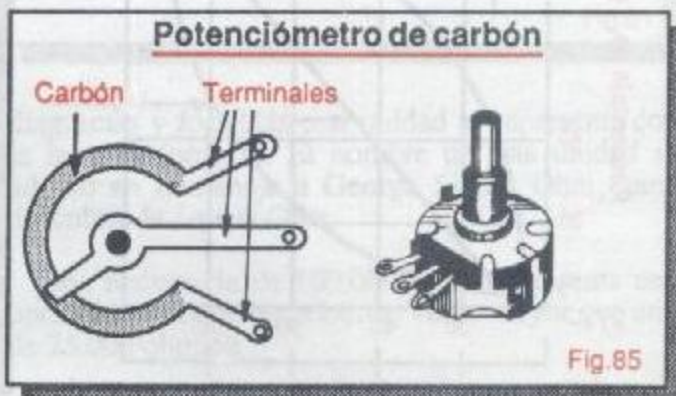


Fig. 85

Existen también potenciómetros de alambre, generalmente de bajo valor en ohmios. Estos son costosos pero son más exactos y seguros. En un potenciómetro de este tipo, el alambre resistivo está sobre la superficie aisladora, de tal manera que el contacto móvil se desliza sobre la superficie recubierta de alambre. (figura 86).



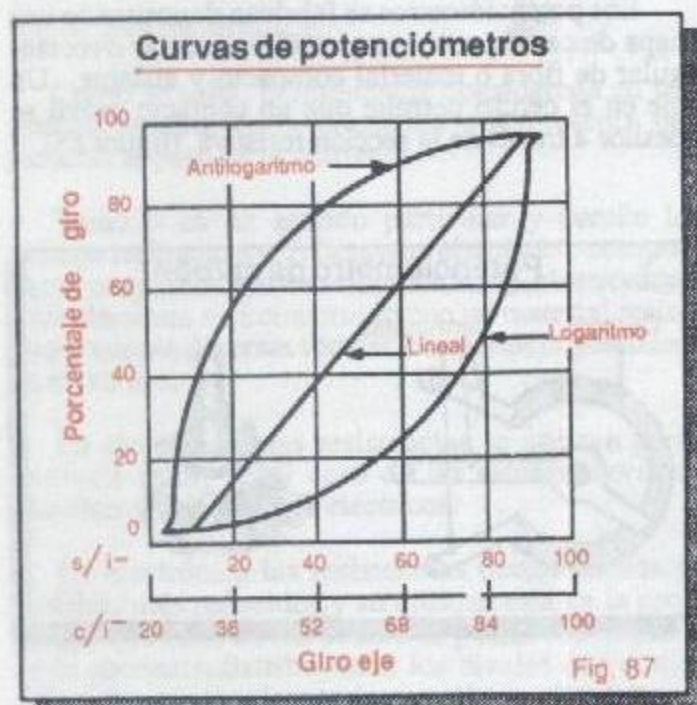
Fig. 86

Un potenciómetro puede ser lineal, logarítmico o antilogarítmico. Un potenciómetro lineal es aquel cuya variación es constante durante el giro del eje o cursor. Por ejemplo, si se gira  $15^\circ$  la resistencia aumenta  $1.000 \Omega$ , y si se gira  $30^\circ$  la resistencia aumenta  $2.000 \Omega$ .

En un potenciómetro logarítmico o antilogarítmico no ocurre esto, se obtiene menos variación al principio y mayor variación al final del giro.

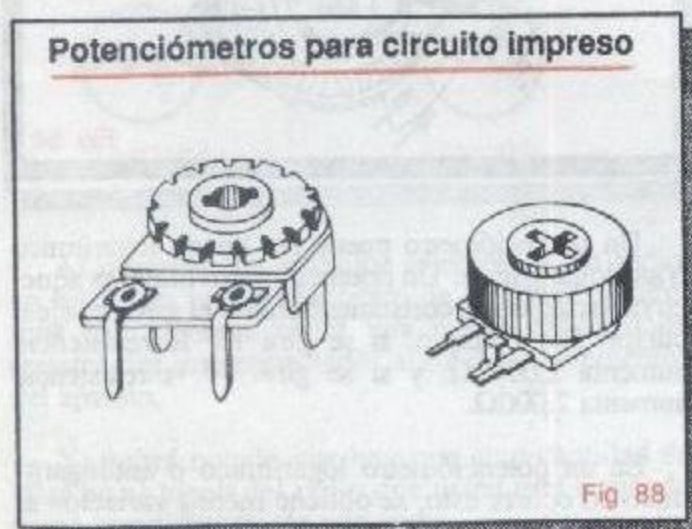


En la figura 87 se pueden observar los diferentes comportamientos o curvas de resistencia para cada tipo.



Existe un tipo de potenciómetro que se fabrica especialmente para ser montado en los *circuitos impresos*, que son esas tabletas o tarjetas de baquelita en donde se montan los componentes de un aparato y se realizan todas las soldaduras para sus conexiones.

Estos potenciómetros se utilizan para ajustar voltajes o corrientes en algunos circuitos y se mueven por medio de un destornillador. Se fabrican de carbón o de cerámica y óxido metálico (cermet). (figura 88).



## Termistores

Un termistor es una resistencia especial que varía con la temperatura y puede ser de características directas o inversas.

Un termistor con características directas es aquel cuyo valor en Ohmios aumenta ante un incremento de la temperatura, mientras que un termistor con características inversas aumenta su valor ante una disminución de la temperatura.

Los termistores se utilizan como protección de sobrecorriente en algunas etapas de audio, o como sensores de calor en controles electrónicos de temperatura.

## La fotocelda

Una fotocelda es una resistencia, cuyo valor en ohmios varía ante las variaciones de la luz.

Estas resistencias están construidas con un material sensible a la luz, de tal manera que cuando la luz incide sobre su superficie, el material sufre una reacción química, alterando su resistencia eléctrica (figura 89).



Una fotocelda presenta un bajo valor de su resistencia ante la presencia de luz, y, un alto valor de resistencia ante la ausencia de luz.

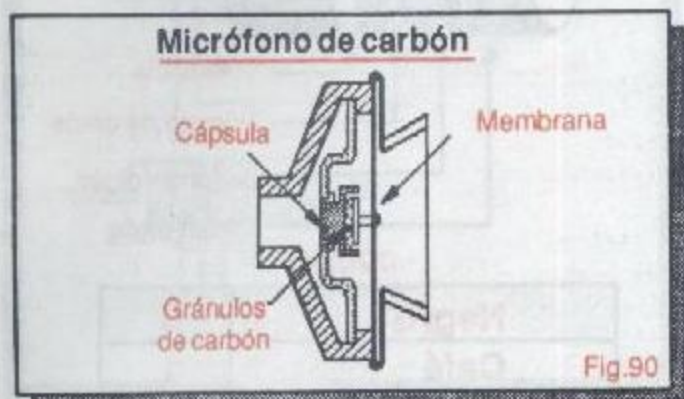
La fotocelda se emplea para controlar el encendido automático del alumbrado público. También se utiliza ampliamente en circuitos contadores electrónicos de objetos y personas, en alarmas, etc.

## Micrófono de carbón

Un micrófono de carbón es una resistencia que cambia su valor en ohmios ante las variaciones de



sonido. Estos micrófonos están contruidos por una membrana metálica que vibra al ser golpeada por la ondas sonoras. (figura 90).



Las vibraciones de sonido hacen que se compriman con mayor o menor intensidad los gránulos de carbón que están aprisionados entre las dos placas, la membrana o diafragma y la caja, obteniéndose una variación de la resistencia eléctrica.

Esta variación se utiliza en un circuito que tiene aplicado un voltaje de corriente continua, produciendo una corriente que varía siguiendo a las ondas sonoras. Si alimentamos esta corriente a un circuito amplificador de sonido podemos escuchar estas ondas en un parlante.

### Resistencias VDR ( Voltage dependent resistors )

Son otro tipo especial de resistencias llamadas también varistores. Su valor en ohmios disminuye ante un aumento de la tensión aplicada.

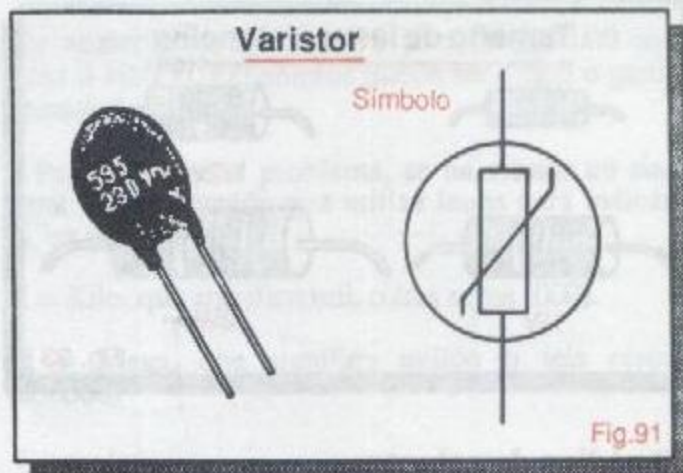
Los varistores se emplean en circuitos de protección contra sobretensiones o picos abruptos de voltaje, que podrían dañar los delicados circuitos electrónicos.

Cuando el voltaje aplicado a sus terminales se pasa del valor para el cual está fabricado, su resistencia baja notablemente, haciendo que el pico de voltaje se reduzca. Cuando el pico de voltaje es de mucha duración, se ponen en cortocircuito y no dejan pasar ese pico hacia el resto del circuito, protegiéndolo.

En la figura 91 tenemos el símbolo, la conexión y un circuito típico de aplicación para un varistor.

### Unidad de medida

Toda resistencia o resistor tiene cierta cantidad de ohmios, que es su unidad de medida. Para los



diagramas y fórmulas esta unidad se representa con la letra  $\Omega$  (omega). El nombre de esta unidad se adoptó en homenaje a George Simon Ohm, quien descubrió la Ley de Ohm.

Una resistencia de 100.000 ohmios presenta una oposición a la corriente cuatro veces mayor que una de 25.000 ohmios.

### Otras características

Además de su tipo, y su valor en ohmios, las resistencias tienen una característica adicional. Se llama *vatiaje* y representa cuánta energía se disipa en ellas, ya que cuando circula corriente por una resistencia, se produce calor a su alrededor. (figura 92).



Este vatiaje determina el tamaño físico de las resistencias, siendo las más grandes las de mayor vatiaje.

Las resistencias de vatiajes altos como 5, 10, 20, 50, 100 W, etc se fabrican de alambre y las de vatiajes bajos para los circuitos electrónicos se fabrican de carbón o de película de carbón en tamaños de 1/8, 1/4, 1/2, 1 y 2 vatios. (figura 93)



### Tamaño de las resistencias

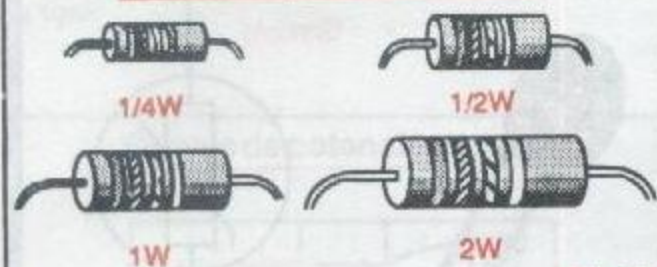


Fig. 93

### El código de colores

El valor en ohmios de las resistencias se puede indicar de dos formas. Una de ellas es marcando este número en su cuerpo o utilizando el código de colores.

Para las resistencias de alambre o de carbón de 1 vatio en adelante, es fácil utilizar el primer método pero, para las resistencias más pequeñas es muy difícil hacerlo, ya que su tamaño lo impide.

Para las resistencias pequeñas de carbón y película de carbón, que son las más utilizadas en los circuitos de radio y comunicaciones, se inventaron un código de colores utilizando tres, cuatro o cinco líneas de colores que se pintan alrededor del cuerpo de la resistencia para indicar su valor en Ohmios, y el rango de tolerancia o precisión.

El sistema de las líneas de colores resuelve dos problemas principalmente:

**Uno:** Sería demasiado difícil ver números grandes marcados en resistencias pequeñas.

Por ejemplo: 1.000.000 ohmios en una resistencia de 1/4 de vatio no se vería muy bien.

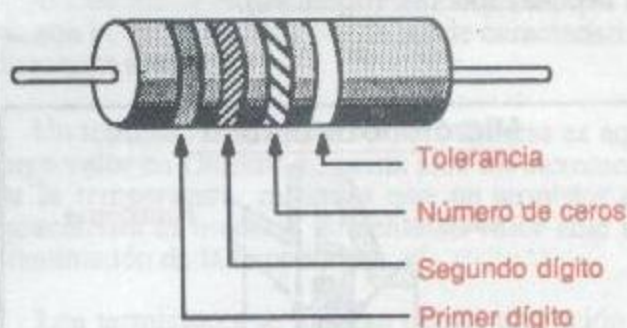
**Dos:** Si la resistencia queda en cierta posición, se taparía este número y no se podría leer su valor.

*Las bandas de colores que tiene toda resistencia alrededor de su cuerpo, parece que resuelven todos estos problemas.*

Cuando se va a leer el código de colores de una resistencia, se debe colocar de esta forma: la línea o banda de color que está más cerca del borde es el primer número, la segunda línea es el segundo número, la tercera línea es el número de ceros o multiplicador, y la cuarta línea o banda es la tolerancia.

Además, cada color corresponde a un número en particular. (figura 94).

### Código de colores



#### CODIGO

Negro	0
Café	1
Rojo	2
Naranja	3
Amarillo	4
Verde	5
Azul	6
Violeta	7
Gris	8
Blanco	9

Cada color representa un número

Fig. 94

Cuando leemos el código de colores debemos recordar:

1. La primera banda representa la primera cifra.
2. La segunda banda representa la segunda cifra.
3. La tercera banda representa el número de ceros que siguen a los dos primeros números. (Si la tercera banda es negra, no hay ceros en el número, y si esta banda es plateada, se divide por 10).
4. La cuarta banda representa la tolerancia. Esta es usualmente dorada que representa un 5%, plateada que es del 10% y, si no tiene banda, es del 20%.

En la figura 95 tenemos dos ejemplos de utilización del código de colores.

Es muy importante practicar mucho con este código hasta que se aprenda de memoria, ya que las resistencias que lo utilizan se encuentran en gran número en todo tipo de circuitos, y, si tenemos que consultar un libro o manual, cada vez que tengamos



## Ejemplos del código



Plateado =  $\pm 10\%$   
 Rojo = 00 (Dos ceros)  
 Verde = 5  
 Café = 1



Dorado =  $\pm 5\%$   
 Café = 0 (Un cero)  
 Negro = 0  
 Café = 1

Fig. 95

que identificar una resistencia, vamos a perder mucho tiempo.

Después de algún tiempo de trabajar en electrónica, este código se hace tan familiar que ya se identifica una resistencia con sólo mirar brevemente su combinación de colores.

## Tolerancia

Se ha mencionado que la cuarta banda indica la tolerancia de la resistencia. Esta tolerancia significa que el valor *real* no es necesariamente el mismo que indica el código. Un 10% de tolerancia significa que el valor real puede ser un 10% mayor o menor que el valor que indica el código.

Esta tolerancia se debe a la precisión del proceso de fabricación de esas resistencias, debido a que las máquinas depositan una capa ligeramente mayor o menor del compuesto resistivo.

Se fabrican resistencias con tolerancias del 20 %, 10 %, 5 % (que son las más comunes), 2 %, 1 %, 0.5 %, 0.1 % y más.

El valor de las resistencias aumenta considerablemente a medida que su precisión aumenta, o sea que la tolerancia es menor. Debemos utilizar por lo tanto las resistencias más económicas posibles, pero que no alteren la operación del circuito.

Para una resistencia de 10.000 ohmios con una tolerancia del 5 %, se puede tener cualquier valor real entre 9.500 y 10.500 ohmios.

## Muchos ceros

Hay otra cosa importante. A menudo encontramos que no es fácil escribir todos los ceros

que aparecen en un número. Escribir 220.000 ohmios o 10.000.000 ohmios puede ser difícil o gastar demasiado espacio.

Para resolver el problema, se ha creado un sistema de abreviación que utiliza letras para indicar Miles y Millones.

**K** = Kilo, que significa mil, o tres ceros (000).

**M** = Mega, que significa millón o seis ceros (000000).

## Ejemplos

En vez de escribir 22.000 ohmios escribimos Kohmios o 22K $\Omega$ .

En vez de escribir 11.000.000 ohmios escribimos 11M $\Omega$ .

47K $\Omega$  sería 47.000  $\Omega$  (47 Kiloohmios).

10M $\Omega$  sería 10.000.000 $\Omega$  (10 Megaohmios).

¿Cómo descifraría una resistencia de 4.7K $\Omega$ ?

Es sencillo, corremos el punto decimal tres puestos quedando 4.700 $\Omega$ .

Una resistencia de 3.3M $\Omega$  sería entonces de 3.300.000 $\Omega$ .

## Valores preferidos o normalizados para las resistencias

Las resistencias de carbón se fabrican en ciertos valores llamados *preferidos* o normalizados. Esto se debe a que sería imposible tener resistencias en todos los valores posibles, y no se justifica en la mayoría de los circuitos electrónicos.

Los valores preferidos son 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2, 2.2, 2.4, 2.7, 3, 3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2 y 9.1 y en todos sus múltiplos.

Estos valores son los que tienen las resistencias o resistores que se encuentran en el mercado, en los almacenes o distribuidores especializados y que se utilizan para toda clase de circuitos electrónicos.

Así tenemos resistencias de 1 K $\Omega$ , 10 K $\Omega$ , 430 K $\Omega$ , 82 K $\Omega$ , 33  $\Omega$ , etc. Para conseguir valores que no se encuentran en esta tabla, se pueden conectar resistencias en *serie* o en *paralelo*.

Las resistencias o resistores se pueden conectar en serie o en paralelo con el fin de obtener valores



preferidos para reemplazar resistencias en un circuito que no tengamos a la mano, o también para lograr resistencias de mayor vatiaje.

## Resistencias en serie

En una conexión en *serie* se conectan dos o más resistencias, uniendo un terminal de una de ellas con un terminal de la siguiente, formando una cadena. Este conjunto de resistencias forman una nueva resistencia con características diferentes, llamada *resistencia equivalente* (figura 96).

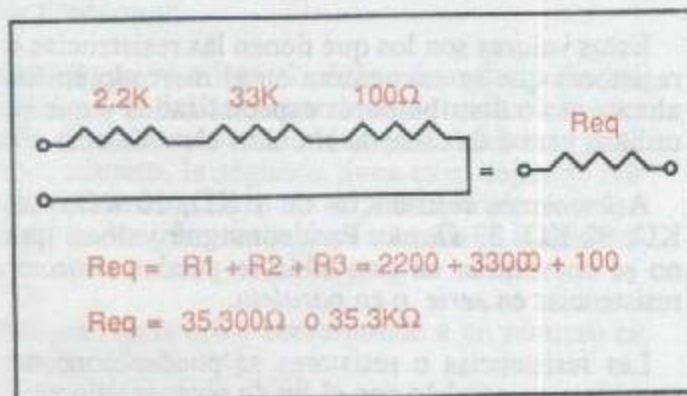


El valor de la resistencia equivalente para resistencias en serie, es igual a la *suma* de todas las resistencias que intervienen en la cadena.

$$R_{eq} \text{ o } R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Como ejemplo para entender mejor cómo se determina el valor de la resistencia equivalente de una conexión o circuito de resistencias en serie, estudiemos el siguiente caso:

Tenemos un circuito con tres resistencias conectadas en serie con valores de 2.2 K $\Omega$ , 33 K $\Omega$  y 100  $\Omega$ . ¿Cuál será su resistencia equivalente?

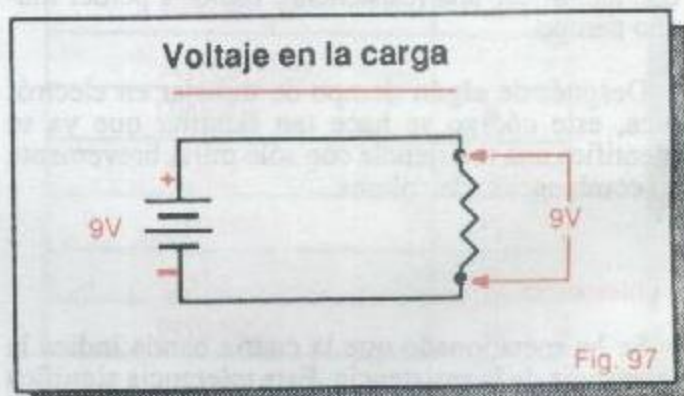


## Corriente y voltaje en un circuito de resistencias en serie

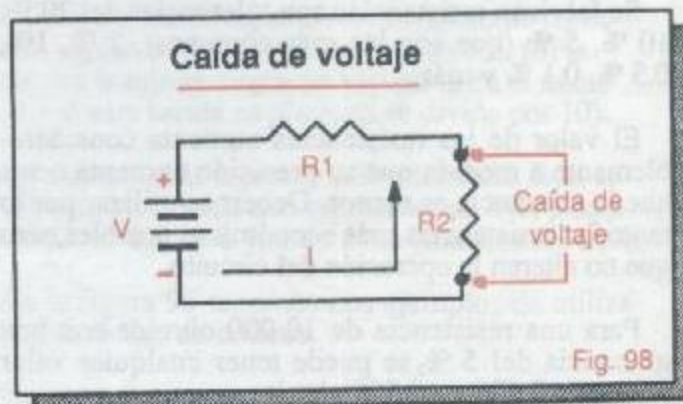
El tema que vamos a estudiar aquí es muy importante en este curso de radio, ya que es el primer análisis del comportamiento del voltaje y la corriente en un circuito con varios componentes electrónicos. Este análisis se utilizará de ahora en adelante para todo tipo de circuitos y componentes.

## Caída de voltaje

Cuando tenemos una carga como un bombillo o una resistencia, conectada a una pila en el circuito eléctrico elemental estudiado anteriormente, todo el voltaje aparece en los terminales de esa carga. (figura 97).



Pero si tenemos dos o más resistencias en serie en un circuito electrónico sencillo, ocurre un fenómeno llamado *caída de voltaje*. Esta caída de voltaje nos indica que en cada resistencia se aplica una parte del voltaje total del circuito, dependiendo de su valor en ohmios. (figura 98).



Este principio se complementa con una ley que dice que si se suman todos los voltajes de los elementos de un circuito en serie siempre debe dar co-



mo resultado el voltaje total aplicado al circuito. (figura 99).

### Suma de voltajes

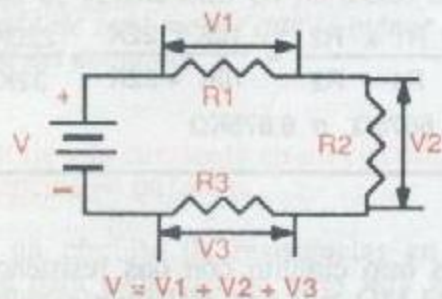
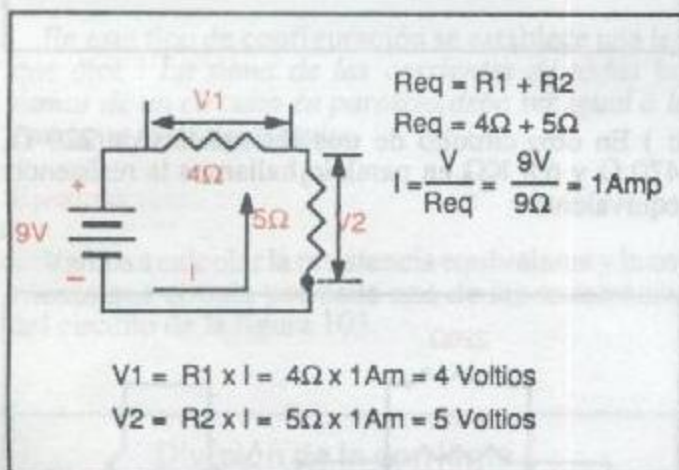


Fig. 99

Otro principio fundamental y muy importante dice que : *En todo circuito en serie la corriente que circula es la misma en todos los elementos de ese circuito.*

Para calcular la caída de voltaje en cada elemento del circuito, se utiliza la ley de Ohm, multiplicando el valor de la corriente que circula, por el valor en ohmios de cada uno de los componentes; en este caso, de las resistencias.



### Divisores de voltaje

Utilizando el principio de la caída de voltaje se pueden formar circuitos llamados *divisores de voltaje*, que permiten obtener varios voltajes de una fuente de valor fijo. Por ejemplo, con una pila de 9 voltios podemos obtener un voltaje de 6 voltios por medio de dos resistencias. (figura 100).

Si utilizamos una resistencia variable o potenciómetro, podemos obtener un voltaje variable de una pila u otra fuente de voltaje de corriente continua. (figura 101).

### Divisor de voltaje

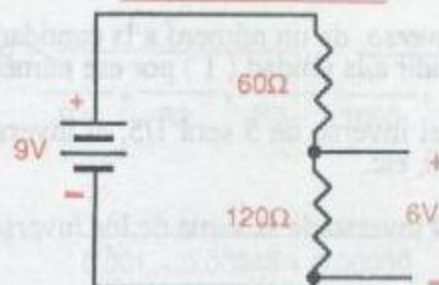


Fig. 100

### Divisor variable de voltaje

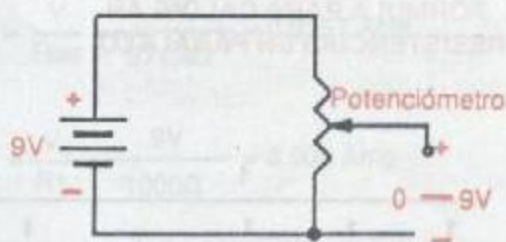


Fig. 101

Estos principios se utilizan mucho en el estudio y análisis de los diferentes circuitos de radio, que estaremos estudiando en próximas lecciones, y por lo tanto los debemos tener muy en cuenta.

### Resistencias en paralelo

En la conexión de resistencias en paralelo se conectan todos los terminales de un lado de las resistencias a un punto común, y todos los terminales del otro lado a otro punto común. (figura 102).

### Resistencias en paralelo

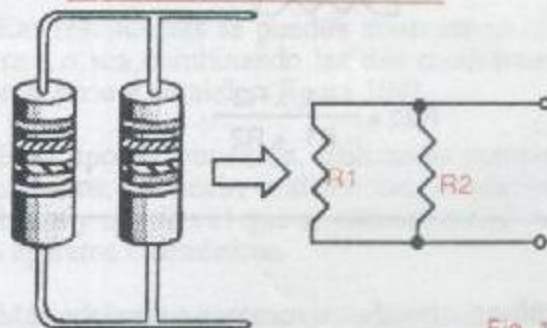


Fig. 102

El valor de la resistencia equivalente para un conjunto de resistencias en paralelo, no es tan fácil de obtener como en las resistencias en serie. Su va-



lor es igual al inverso de la suma de los inversos de cada resistencia del conjunto.

Se llama *inverso* de un número a la cantidad que resulta de dividir a la unidad ( 1 ) por ese número.

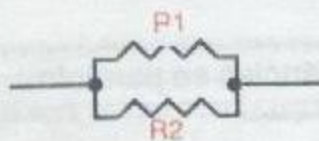
Ejemplo : el inverso de 5 será  $1/5$ , el inverso de 100 será  $1/100$ , etc.

Entonces el inverso de la suma de los inversos se escribe así :

### FORMULA PARA CALCULAR RESISTENCIAS EN PARALELO

$$Req = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \dots + \frac{1}{Rn}}$$

Cuando tenemos solamente dos resistencias en paralelo, la fórmula se puede simplificar de la siguiente manera :



$$Req = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}$$

### Ejemplos :

a) Tenemos un circuito con dos resistencias en paralelo de  $10\text{ K}\Omega$  y  $22\text{ K}\Omega$ , y encontraremos el valor de la resistencia equivalente o total. Aplicando la fórmula tenemos :



$$Req = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2} = \frac{10K \times 22K}{10K + 22K} = \frac{220K^2}{32K}$$

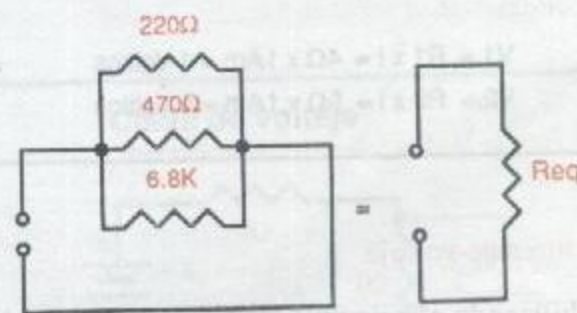
$$Req = 6875\Omega \text{ o } 6,875K\Omega$$

b) Tenemos otro circuito con dos resistencias en paralelo, de  $1\text{ M}\Omega$  cada una. Hallamos el valor de la resistencia equivalente :



$$Req = \frac{1M\Omega}{2} = 500.000\Omega \text{ o } 500K\Omega$$

c ) En otro circuito de tres resistencias de  $220\Omega$ ,  $470\Omega$  y  $6.8\text{ K}\Omega$  en paralelo, hallamos la resistencia equivalente :



$$Req = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}} = \frac{1}{\frac{1}{220} + \frac{1}{470} + \frac{1}{6800}}$$

$$Req = \frac{1}{0.0045 + 0.0021 + 0.00014} = \frac{1}{0.00674}$$

$$Req = 148.36\Omega$$



Como conclusión debemos tener en cuenta que, si conectamos dos resistencias iguales en paralelo, el valor de la resistencia equivalente será la mitad del valor de una de estas resistencias.

Otro principio importante es el que dice que, en un circuito de resistencias en paralelo, la resistencia equivalente será menor que la menor de las resistencias del conjunto.

### El voltaje y la corriente en un circuito de resistencias en paralelo.

En un circuito de resistencias en paralelo, el voltaje para cada una de ellas será igual y es el mismo de la fuente de alimentación del circuito.

Sin embargo la corriente se divide o distribuye por cada una de las resistencias o ramales, de acuerdo al valor en ohmios de cada resistencia.

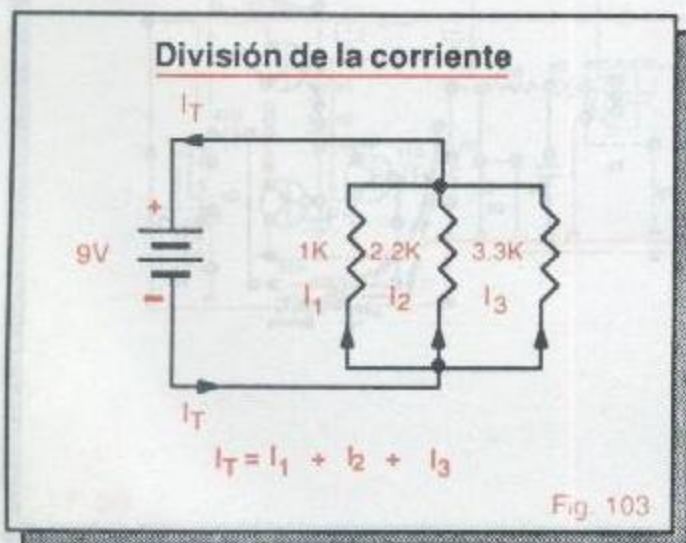
Debemos observar entonces que en el circuito en paralelo, ocurre lo contrario que en el circuito en serie, en cuanto a voltaje y corriente se refiere.

Para calcular cómo se divide la corriente por cada uno de los circuitos, se utiliza la ley de Ohm, dividiendo el voltaje total, que es el mismo, por el valor de cada resistencia.

En este tipo de configuración se establece una ley que dice: *La suma de las corrientes de todas las ramas de un circuito en paralelo, debe ser igual a la corriente total del circuito.*

#### Ejemplo:

Vamos a calcular la resistencia equivalente y la corriente que circula por cada una de las resistencias del circuito de la figura 103.



$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{2200} + \frac{1}{3300}}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{0.001 + 0.00045 + 0.00030} = \frac{1}{0.00175}$$

$$R_{eq} = 571.4\Omega$$

$$I_T = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{9V}{571.4\Omega} = 0.0157 \text{ Amp}$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{9V}{1000\Omega} = 0.009 \text{ Amp}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{9V}{2200\Omega} = 0.0040 \text{ Amp}$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{9V}{3300\Omega} = 0.0027 \text{ Amp}$$

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 = 0.009 + 0.004 + 0.0027$$

$$I_T = 0.0157 \text{ Amp}$$

### Resistencias en serie - paralelo

Las resistencias se pueden conectar en circuitos mixtos, o sea, combinando las dos conexiones anteriores, serie y paralelo. (figura 104).

Este tipo de conexión, utilizando componentes mezclados, es decir, resistencias, condensadores, bobinas y otros, es el que se encuentra realmente en los aparatos electrónicos.

Más adelante estaremos estudiando las diferentes combinaciones de componentes, llamadas circuitos RC, RL, LC y RLC.

La letra R indica resistencia, la letra C indica condensador y la letra L indica bobina.



## Actividad práctica N° 5

En esta actividad vamos a instalar en el tablero del radio las resistencias correspondientes al circuito amplificador de audio o, sea la etapa marcada con el color azul en su lámina del diagrama del radio.

Para hacerlo, siga cuidadosamente las instrucciones siguientes, utilizando como ayuda la lámina "Guía para la instalación de componentes". Recuerde las instrucciones para soldar correctamente, entregadas en las prácticas anteriores.

### Componentes y herramientas necesarios

- 1 Resistencia de  $680 \Omega$  (Azul-Gris-Café)
- 2 Resistencias de  $0.5 \Omega$  (Verde-Negro-Plateado)
- 1 Resistencia de  $150 K\Omega$  (Café-Verde-Amarillo)
- 1 Resistencia de  $560 \Omega$  (Verde-Azul-Café)

Todas las resistencias de  $1/4$  de vatio y 5% de tolerancia, por lo tanto la cuarta banda debe ser dorada.

- 1 Cautín o soldador de 25 vatios
- 1 Pinzas de punta
- 1 Cortador de alambre o cortafrío
- 1 Pedazo de soldadura

**Paso 1:** Localice la resistencia R13 de 680 ohmios

(Azul-Gris-Café-Dorado) e instálela entre las puntillas A9 y A25, en la parte superior derecha del radio. Suelde primero un terminal en la puntilla A9 fijándose que la resistencia que de sentrada entre las dos puntillas. Luego suelde el otro terminal en la puntilla A25, fijándose que la resistencia que de bien recta. Y recorte los terminales sobrantes.

**Paso 2:** Localice las dos resistencias R14 y R15 de  $0.5 \Omega$  (Verde-Negro-Plateado-Dorado). Instale una entre las puntillas A19 y A20 y la otra entre las puntillas A20 y A21. Colóquelas en el centro de las puntillas, suelde bien sus terminales y recorte los alambres sobrantes.

**Paso 3:** Localice la resistencia R16 de  $150 K\Omega$  (Café-Verde-Amarillo-Dorado) e instálela entre las puntillas A7 y A17, soldando bien sus dos terminales.

**Paso 4:** Localice la resistencia R12 de  $560 \Omega$  (Verde-Azul-Café-Dorado), e instálela entre las puntillas 39 y 38.

Después de pegar estas cinco resistencias su radio debe quedar como se muestra en la figura A7.

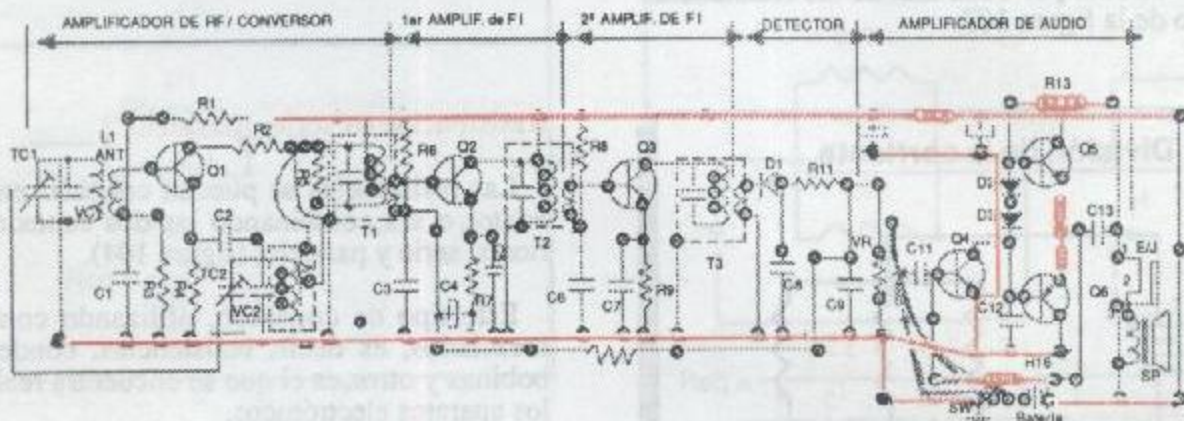


Fig. A7



## Conexión mixta

Serie

Paralelo

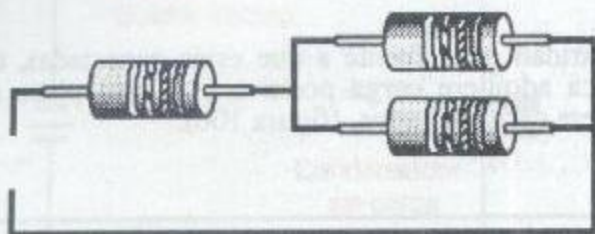
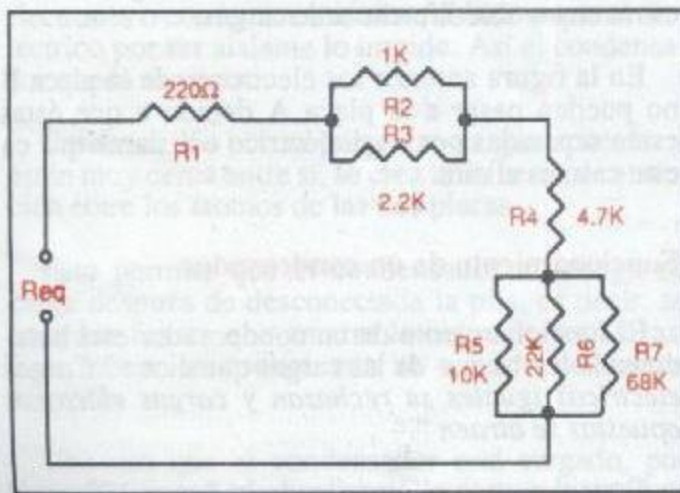


Fig. 104

Para aplicar la ley de Ohm a los circuitos mixtos o complejos como el de la figura 104 debemos primero encontrar la resistencia equivalente de todo el circuito. Para hacerlo, debemos ir resolviendo cada grupo hasta llevarlo a un circuito más simple y al final poder calcular fácilmente el valor de esa resistencia.

Con el fin de aclarar esta afirmación, vamos a realizar un ejemplo con un circuito real. Supongamos que tenemos un circuito con diferente combinación de resistencias en serie y paralelo y se debe hallar su resistencia equivalente.

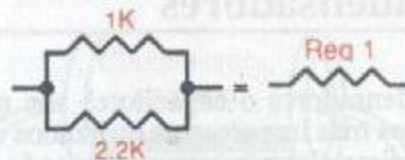


### Solución:

Para hallar la resistencia equivalente en el circuito debemos resolver primero los dos grupos de resistencias en paralelo.

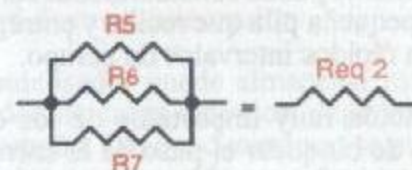
Después reemplazando estos dos valores en el circuito quedará como muestra la gráfica.

Y aplicando la fórmula para resistencias en serie se obtiene el resultado.



$$Req\ 1 = \frac{R2 \times R3}{R2 + R3} = \frac{1K \times 2.2K}{1K + 2.2K} = \frac{2.2K^2}{3.2K}$$

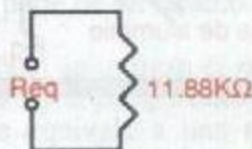
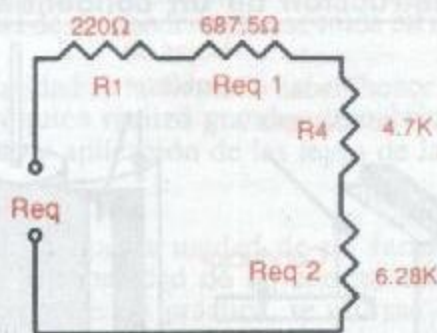
$$Req\ 1 = 0.6875K \text{ o } 687.5\Omega$$



$$Req\ 2 = \frac{1}{\frac{1}{10K} + \frac{1}{22K} + \frac{1}{68K}}$$

$$Req\ 2 = \frac{1}{0.0001 + 0.000045 + 0.000014} = \frac{1}{0.000159}$$

$$Req\ 2 = 6.28K$$



$$Req = 220\Omega + 687.5\Omega + 4700\Omega + 6.280K$$

$$Req = 11887\ \Omega \text{ o } 11.88K\Omega$$



## Los condensadores

Los condensadores o capacitores son uno de los componentes más importantes utilizados en casi todos los circuitos electrónicos y sobre todo en los circuitos de radio.

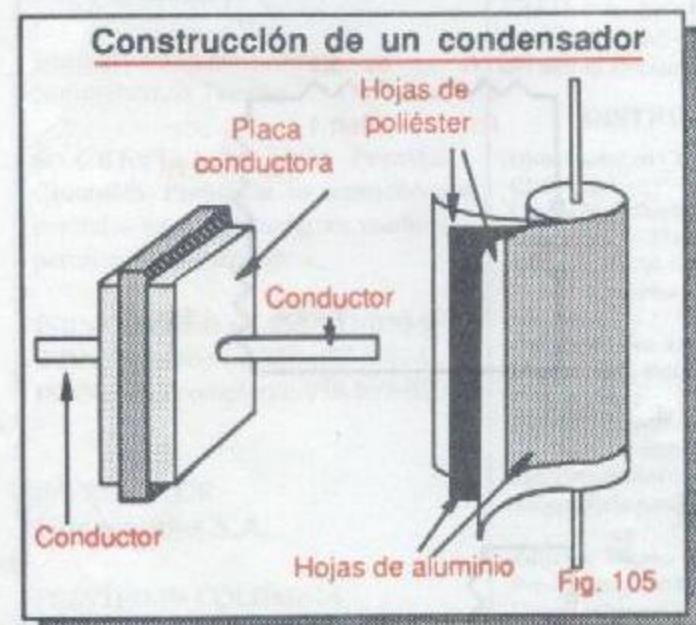
Sus aplicaciones son muy variadas y tienen como función principal almacenar energía temporalmente.

Prácticamente puede considerarse al condensador como una pequeña pila que recibe y entrega energía eléctrica en rápidos intervalos de tiempo.

Otra función muy importante de los condensadores es la de bloquear el paso de la corriente continua y permitir el paso de la corriente alterna de un circuito a otro.

### Construcción de los condensadores

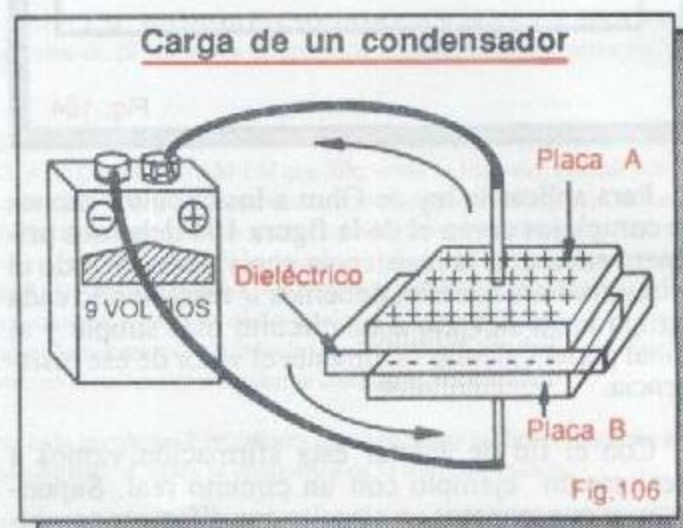
Un condensador está compuesto por dos superficies conductoras o placas metálicas, separadas por un material aislante llamado dieléctrico. (figura 105).



El dieléctrico de un condensador puede ser de diferentes materiales. Entre los más utilizados tenemos el papel, la cerámica, el poliéster, la mica, el papel impregnado en aceite, el aire, etc.

Las placas de los condensadores tienen la función de almacenar los electrones. Dependiendo de la

polaridad de la fuente a que estén conectadas, una placa adquiere carga positiva y la otra placa adquiere carga negativa. (figura 106).



Esta condición crea una diferencia de cargas entre las dos placas. La función del dieléctrico o aislante es mantener esa diferencia de cargas.

En la figura anterior los electrones de la placa B no pueden pasar a la placa A debido a que éstas están separadas por un dieléctrico o aislante que en este caso es el aire.

### Funcionamiento de un condensador

El funcionamiento de un condensador está basado en la ley básica de las cargas que dice: "Cargas eléctricas iguales se rechazan y cargas eléctricas opuestas se atraen".

Consideremos el circuito de la figura 107, en el cual el suiche está abierto y no permite que fluya corriente hacia el condensador.

En estas condiciones, el condensador permanece inactivo por encontrarse aislado de la fuente y por lo tanto no se crea diferencia de carga entre sus placas. Veamos lo que sucede al cerrarse el suiche. (figura 107).

Al cerrarse el suiche, el exceso de electrones del borne negativo de la pila circula a través del hilo conductor depositándose en la placa A, cargándola negativamente.



### Proceso de carga del condensador

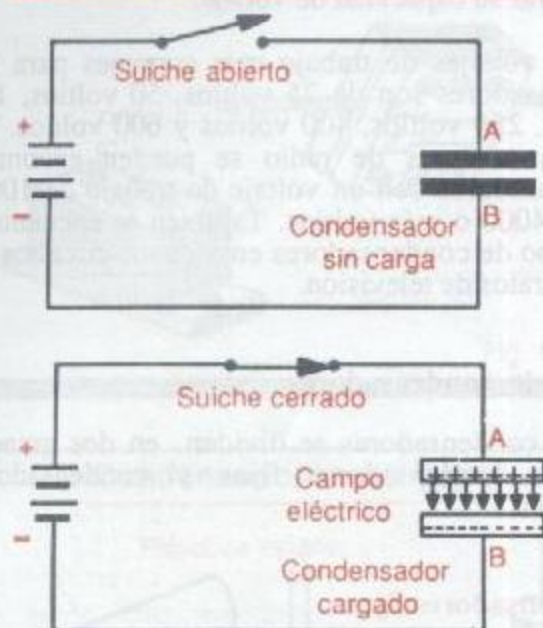


Fig. 107

El borne positivo de la fuente atrae electrones de la otra placa (B) dejándola con un faltante de electrones, en otras palabras, cargándola positivamente. Durante el proceso anterior se establece una diferencia de cargas entre las dos placas sin existir flujo de electrones o corriente entre ellas, debido a que el dieléctrico por ser aislante lo impide. Así el condensador queda cargado.

Como las dos placas presentan cargas opuestas y están muy cerca entre sí, se crea una fuerza de atracción entre los átomos de las dos placas.

Esto permite que el condensador mantenga su carga después de desconectada la pila, es decir, se crea una fuerza que amarra la carga de las placas. Esta fuerza se conoce con el nombre de *campo eléctrico*.

Una vez que el condensador está cargado, podríamos unir sus terminales, notando que se produce una pequeña chispa al hacerlo. (figura 108).

El condensador cargado actúa como una pequeña pila.

Los electrones sobrantes de la placa negativa se pasan a la placa positiva por medio de los conductores, estableciendo una corriente eléctrica.

Casi inmediatamente las dos placas quedan con igual cantidad de electrones libres, desapareciendo la diferencia de cargas con lo cual el condensador se considera descargado.

### Descarga de un condensador



Fig. 108

### Capacidad de un condensador

Un condensador puede almacenar mayor o menor cantidad de carga eléctrica, dependiendo de su forma y tamaño. Los condensadores se pueden comparar con los estanques de agua, hay unos con mayor capacidad de almacenamiento que otros.

### Unidad de medida de la capacidad de los condensadores

A la cantidad de carga eléctrica que puede almacenar un condensador se le conoce como *Capacidad* y se mide por medio de una unidad llamada *Faradio*.

Al igual que la capacidad de un tanque de agua se mide en metros cúbicos, en litros o en galones, la capacidad de un condensador se mide en *Faradios*.

Esta unidad se ha llamado así en honor a Michael Faraday, quien realizó grandes descubrimientos en el estudio y aplicación de las leyes de la electricidad.

Debido a que la unidad de un faradio corresponde a la capacidad de un enorme condensador que no existe en la práctica, se utilizan frecuentemente unidades de medida muchísimo más pequeñas.

Para esto se ha establecido el *microfaradio*, que se abrevia como  $\mu F$  y que equivale a una millonésima parte de un faradio.

También se utilizan el *nanofaradio* que se escribe como  $nF$  y el *picofaradio* que se escribe como  $pF$  y que equivale a una millonésima parte de un microfaradio.

$$\begin{aligned} 1 \text{ Faradio} &= 1.000.000 \mu F \\ &= 1.000.000.000.000 pF \end{aligned}$$



$$1 \mu F = \frac{1}{1000000} \text{ Faradios} = 0.000001 F = 1 \times 10^{-6} F$$

$$1 pF = \frac{1}{1000000} \mu F = 0.000001 \mu F = 1 \times 10^{-6} \mu F$$

$$1 pF = \frac{1}{1000000000000} \text{ Faradios} = 0.000000000001 F = 1 \times 10^{-12} F$$

Es muy común encontrar en los aparatos electrónicos condensadores de 100 picofaradios, 10 microfaradios, 2200 microfaradios y que se expresan como 100 pF, 10  $\mu F$ , 2200  $\mu F$ , etc.

### Factores que determinan la capacidad de un condensador

Existe una gran variedad de condensadores de diferentes valores, desde un picofaradio, hasta varios miles de microfaradios.

Hay dos factores físicos que determinan la capacidad de almacenamiento de electrones de un condensador. Estos dos aspectos: son el tamaño o superficie de las placas y la separación entre ellas o sea el espesor del dieléctrico.

A mayor tamaño o área de las placas, o a menor separación entre ellas, se obtiene una mayor capacidad en el condensador. Esta separación tiene cierto límite, ya que si se tienen las placas muy cerca entre sí puede saltar el voltaje de una placa a la otra quemando el condensador.

Por esta razón los condensadores de mayor capacidad son más grandes que otros de menor capacidad.

### El voltaje de trabajo

Otro aspecto muy importante en los condensadores es el máximo voltaje que soportan conectados a un circuito. A esta característica se le llama *voltaje de trabajo*.

Dos condensadores pueden tener la misma capacidad en microfaradios, pero soportar diferentes voltajes. El voltaje de trabajo de un condensador está relacionado con el material del dieléctrico utilizado y con la separación entre sus placas.

Un condensador cuyas placas están más cerca entre, sí soporta menor voltaje, rompiéndose con mayor facilidad el aislamiento del dieléctrico. Por esta razón los condensadores de mayor voltaje son

más voluminosos, ya que requieren que sus placas estén más separadas y su superficie sea mayor para no alterar su capacidad de voltaje.

Los voltajes de trabajo más comunes para los condensadores son de 25 voltios, 50 voltios, 100 voltios, 250 voltios, 400 voltios y 600 voltios. En los transmisores de radio se pueden encontrar condensadores con un voltaje de trabajo de 1000, 2000, 4000 o más voltios. También se encuentran este tipo de condensadores en algunos circuitos de los aparatos de televisión.

### Tipos de condensadores

Los condensadores se dividen en dos grandes grupos: condensadores fijos y condensadores variables.

#### Condensadores fijos

Como su nombre lo dice, presentan un mismo valor de capacidad. Hay diferentes tipos de condensadores fijos, clasificados principalmente por el tipo de dieléctrico utilizado en su fabricación.

Según el tipo de dieléctrico toman diferentes formas como veremos más adelante. Los principales tipos de condensadores fijos son: de mica, de cerámica, de papel y los electrolíticos.

Los condensadores de cerámica y los electrolíticos son los más utilizados en los actuales circuitos electrónicos y de radio, pero existen otros tipos de condensadores que se utilizan mucho, sobre todo en los aparatos de radio y televisión fabricados con tubos.

#### Condensadores de mica

Están formados por láminas metálicas delgadas, separadas entre sí por láminas de mica. Todo el conjunto está contenido dentro de una envoltura de plástico. Los condensadores de mica presentan bajas pérdidas de energía, soportan altos voltajes, son compactos y de buena precisión. (figura 109).

#### Condensadores de papel

Los condensadores de papel son baratos y su construcción es muy sencilla, lo cual ha hecho muy popular su empleo. Consiste en tiras metálicas muy delgadas, separadas entre sí por bandas de papel aislante impregnado en cera como dieléctrico. Las placas y el papel del condensador vienen enrollados en forma cilíndrica, con el fin de obtener una mayor área de las placas, logrando así una capacidad utilizable. (figura 110).



### Condensadores de mica

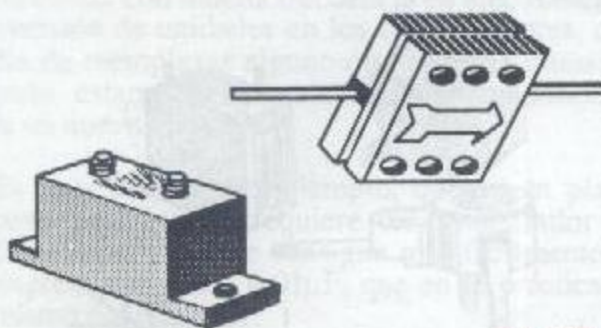


Fig. 109

### Condensadores de papel



Fig. 110

Los voltajes de trabajo con que se fabrican estos condensadores son de 200, 400 y 600 voltios. Para voltajes mayores es necesario utilizar condensadores de papel con baño de aceite.

### Condensadores de cerámica

Los condensadores de cerámica, llamados también condensadores de disco, son de tamaño reducido, baratos y versátiles. Estos condensadores están constituidos por dos delgadas placas o películas de plata en forma de disco y tienen cerámica como material dieléctrico. (figura 111).

### Condensadores de cerámica

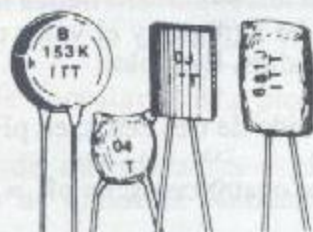


Fig. 111

Las formas más usuales de los condensadores cerámicos son la de disco y la tubular. Son condensadores relativamente pequeños y se utilizan mucho en todos los circuitos electrónicos. Su capacidad está comprendida entre  $1\text{pF}$  y  $0.02\mu\text{F}$ .

En el circuito de radio AM que estamos construyendo, tenemos varios condensadores de cerámica. Estos están identificados como C1, C2, C3, C5, C6, C7, C8, C9 y C12.

### Condensadores electrolíticos

Los condensadores electrolíticos, conocidos también como condensadores polarizados, constan de una placa positiva y otra placa negativa, hechas generalmente de aluminio o tantalio poroso. La placa positiva está sumergida en un líquido, que hace las veces de electrolito en el caso de los condensadores electrolíticos húmedos. En el caso de los condensadores electrolíticos secos, las placas están en contacto con una gasa impregnada de electrolito.

La principal ventaja de los condensadores electrolíticos es la de presentar una capacidad muy alta para un tamaño relativamente pequeño, sin exceder su costo. Su capacidad puede alcanzar el orden de los miles de microfaradios.

En la figura 112 podemos observar el aspecto físico de este tipo de condensador, que es muy común también en todos los circuitos electrónicos.

### Condensadores electrolíticos



Fig. 112

Los valores más usuales son:  $1\mu\text{F}$ ,  $10\mu\text{F}$ ,  $22\mu\text{F}$ ,  $100\mu\text{F}$ ,  $1000\mu\text{F}$ ,  $2200\mu\text{F}$ ,  $6800\mu\text{F}$ ,  $4700\mu\text{F}$  y  $10000\mu\text{F}$ .



Debido a que los condensadores electrolíticos presentan polaridad, hay que ser cuidadoso al conectarlos, ya que una polaridad invertida lo puede destruir explotando violentamente, por tal razón estos condensadores sólo se utilizan en circuitos de corriente directa o continua.

Para conectar un condensador electrolítico deben conocerse los terminales positivo y negativo, tanto en el condensador como en el circuito.

La principal aplicación de los condensadores electrolíticos está en los circuitos de fuente de poder.

Podemos observar en el diagrama del radio que tenemos varios condensadores electrolíticos que son: C4, C10, C11, C13 Y C14.

Los condensadores electrolíticos se fabrican en dos formas: axial y radial. Los de tipo axial tienen los terminales en cada lado del condensador y se montan acostados. Los de tipo radial tienen los dos terminales por el mismo lado y se montan parados. (figura 113).

### Montaje de condensadores electrolíticos

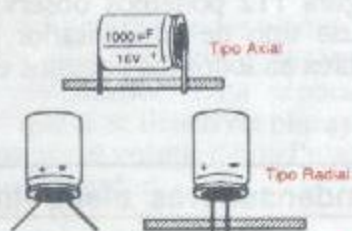


Fig. 113

### Condensadores variables

Son aquellos cuya capacidad se puede variar a voluntad ya sea por medio de una perilla o tornillo. Estos condensadores son utilizados como sintonizadores o para ajustar ciertos circuitos en los equipos receptores y transmisores de radio.

Los condensadores variables se fabrican con dieléctrico de aire en el caso de los sintonizadores o con dieléctrico de plástico o mica cuando son de ajuste. Su capacidad siempre tiene un rango. Por ejemplo, los que se utilizan en los radios de AM pueden tener un valor entre 5pF y 365 pF.

En la figura 114 podemos observar los diferentes tipos de condensadores variables más utilizados en los circuitos de radio y los símbolos utilizados para representarlos en los diagramas.

### Condensadores variables

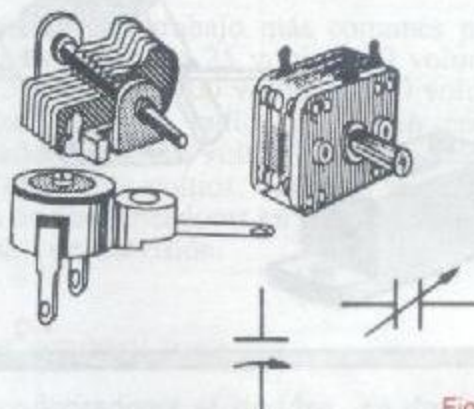


Fig. 114

### Identificación de los condensadores

En el momento de elegir o identificar un condensador hay que tener en cuenta lo siguiente:

La capacidad, que está dada en microfaradios, nanofaradios o picofaradios, el voltaje de trabajo, la tolerancia que al igual que las resistencias se refiere al grado de precisión en su capacidad y el tipo de condensador.

Por último, en algunos tipos de condensadores electrolíticos viene estipulada la temperatura de trabajo y que se refiere al calor que éstos soportan.

Para su identificación, la mayoría de los condensadores traen directamente impresos sus valores en microfaradios ( $\mu\text{F}$ ), nanofaradios (nF), picofaradios (pF) o micromicrofaradios ( $\mu\mu\text{F}$ ) que equivale a picofaradios ( $1\mu\mu\text{F} = 1\text{pF}$ ).

Igualmente ocurre con el dato de voltaje y temperatura. Los condensadores electrolíticos se diferencian fácilmente por tener marcada su capacidad, su voltaje y sus terminales como positivo y negativo. Además su tamaño es mucho mayor.

Los condensadores de cerámica traen tres números y una letra. La capacidad que expresa estos números se da en unidades de picofaradios.

El valor debe leerse así: los dos números se leen directamente, el tercer número indica la cantidad de ceros que se debe agregar, y el valor obtenido está dado en picofaradios. Ejemplo:

103 Z = 10 seguido de tres ceros, en pF = 10000pF

204 Z = 20 mas cuatro ceros, en pF = 200000pF

333 Z = 33 seguido de tres ceros, en pF = 33000pF



## Conversión de unidades en los condensadores

Se utiliza con mucha frecuencia en electrónica la conversión de unidades en los condensadores, con el fin de reemplazar alguno que está defectuoso o cuando estamos consiguiendo los componentes para un nuevo circuito.

Es muy común, por ejemplo, que en un plano encontremos que se requiere un condensador de 10.000pF, pero éste se consigue más fácilmente si lo expresamos como 0.01μF, que en la práctica es el mismo condensador.

### Conversión de picofaradios a microfaradios

Para pasar de picofaradios a microfaradios se divide la cantidad expresada en pF sobre un millón.

$$\mu F = \frac{pF}{1000000} \mu F$$

Ejemplo: Expresar en μF los valores de los siguientes condensadores: 10000pF, 200000pF, 20000pF y 330000pF.

$$\frac{10000pF}{1000000 \mu F} = \frac{1}{100} \mu F = 0.01\mu F = .01\mu F$$

$$\frac{100000pF}{1000000 \mu F} = \frac{1}{10} \mu F = 0.1\mu F = .1\mu F$$

$$\frac{20000pF}{1000000 \mu F} = \frac{2}{100} \mu F = 0.02\mu F = .02\mu F$$

$$\frac{330000pF}{1000000 \mu F} = \frac{33}{100} \mu F = 0.33\mu F = .33\mu F$$

### Conversión de microfaradios a picofaradios

Para pasar de microfaradios a picofaradios se multiplica por un millón la cantidad a expresar:

$$1\mu F = 1000000pF$$

Ejemplo:

Expresar en picofaradios y en código de tres números los condensadores siguientes:

$$0.1 \mu F \text{ y } 0.001 \mu F$$

$$0.1 \mu F = 0.1 \mu F \times 1000000 pF = 100000 pF = 100000 = 104$$

$$0.001 \mu F = 0.001 \mu F \times 1000000 pF = 1000 pF = 1000 = 102$$

## Conexión de condensadores

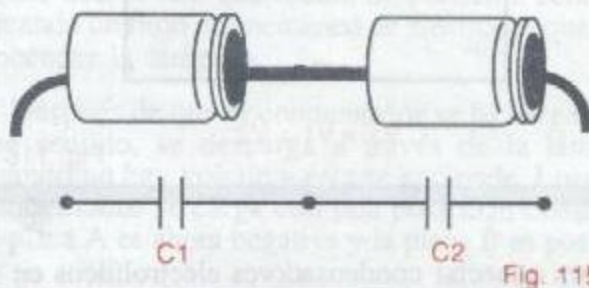
Los condensadores, al igual que las resistencias, se pueden conectar en serie, en paralelo o en forma mixta.

### Conexión de condensadores en serie

Al conectar condensadores en serie, la capacidad total disminuye.

Esto equivale a aumentar el espesor del dieléctrico quedando un sólo condensador cuyas placas están más separadas. (figura 115).

#### Condensadores en serie



La fórmula para encontrar el valor equivalente de los condensadores en serie es similar a la de resistencias en paralelo.

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots}$$



Para dos condensadores diferentes:

$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

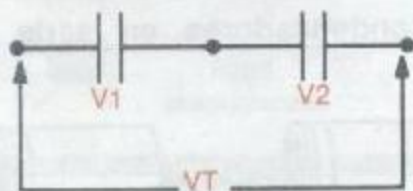
Para condensadores iguales:

$$C_T = \frac{C}{n}$$

$C_T$  = Capacidad Total  
 $C$  = Capacidad de un condensador  
 $n$  = Número de condensadores conectados

El máximo voltaje admitido por un grupo de condensadores conectados en serie es igual a la suma de los voltajes de cada condensador. Por lo tanto al conectar condensadores en serie se aumenta el voltaje de trabajo pero se disminuye la capacidad. (figura 116).

### Voltajes en condensadores en serie



$$V_T = V_1 + V_2$$

Fig. 116

Para conectar condensadores electrolíticos en serie se debe alternar su polaridad como en el caso de las pilas. (figura 117).

### Condensadores electrolíticos en serie

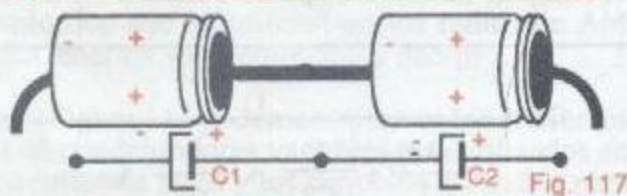


Fig. 117

### Conexión de condensadores en paralelo

Cuando conectamos condensadores en paralelo, la superficie activa de las placas aumenta, obteniéndose un aumento de la capacidad. (figura 118).

### Condensadores en paralelo

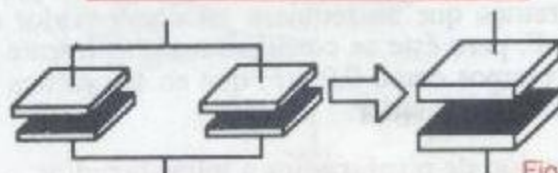
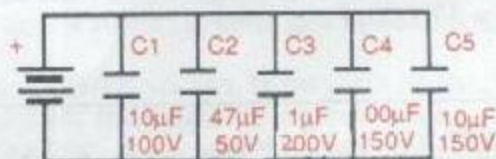


Fig. 118

Varios condensadores conectados en paralelo se pueden expresar como un solo condensador equivalente mediante la suma de la capacidad de cada uno:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots \text{etc}$$

El voltaje aplicado al conjunto es el mismo para todos los condensadores y por lo tanto el máximo voltaje aplicado al circuito no debe ser superior al del condensador con menor voltaje de trabajo. Ejemplo:



Hallar  $C_T$  y voltaje máximo que se puede aplicar

SOLUCION:

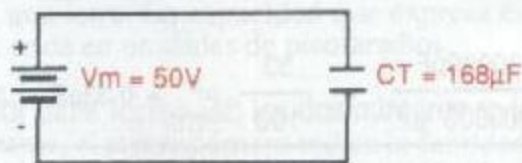
$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5$$

$$C_T = 10\mu F + 47\mu F + 1\mu F + 100\mu F + 10\mu F$$

$$C_T = 168\mu F$$

Voltaje máximo permitido = Al menor voltaje de trabajo

Voltaje máximo =  $V_m = 50V$



Observemos que la fórmula utilizada para condensadores en serie es la misma que para resistencias en paralelo, y la fórmula para condensadores en paralelo es la misma que para resistencias en serie.



## Seguridad en el uso de condensadores

Cuando conectamos condensadores con voltajes superiores a 50 voltios y, sobre todo aquellos electrolíticos que vienen en los aparatos de sonido y televisión, debemos tener mucho cuidado de no tocar sus terminales. Estos condensadores permanecen cargados aún después de desconectarse el aparato.

Para evitar todo esto es preciso descargar los condensadores antes de manipular con estos circuitos. Una forma de hacerlo es poniendo momentáneamente en cortocircuito sus terminales.

## Recomendaciones para elección de condensadores

Es recomendable que el voltaje de trabajo de un condensador sea de un 10% a 20% mayor, que el voltaje normal a que está conectado.

Hay que tener también en cuenta la temperatura de trabajo. En partes muy encerradas los condensadores se pueden sobrecalentar haciendo que éstos se sequen, derritan o se quemen. Se debe procurar que los condensadores, sobre todo los electrolíticos, no queden cerca de elementos que disipen mucho calor.

En este caso existen condensadores electrolíticos fabricados para diferentes temperaturas, por ejemplo: 85° C o 105° C.

## Comportamiento de los condensadores con la corriente alterna (CA)

En los diferentes circuitos electrónicos de un radio, un televisor o un aparato de sonido de cualquier tipo, siempre encontramos corriente continua y corriente alterna trabajando juntas, lo que hace posible el funcionamiento total del aparato.

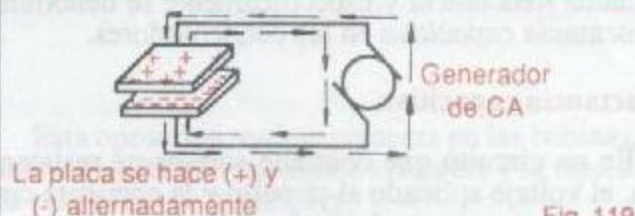
Los condensadores juegan un papel muy importante ante los dos tipos de corriente.

La acción de un condensador frente a la corriente continua sólo se manifiesta en los instantes en que se conecta y desconecta el voltaje, actuando después como un circuito abierto que no deja circular la corriente.

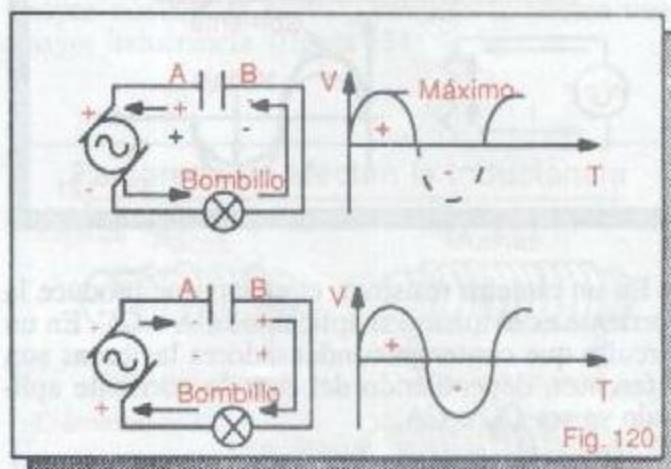
Al aplicar una corriente alterna (CA) a un condensador, éste actúa en forma muy diferente. Debido a que la corriente alterna invierte periódicamente su polaridad, las placas se hacen positivas y negativas alternadamente.

En la figura 119 observamos las flechas para lado y lado indicando el avance y retroceso permanente de la CA, pero en ningún momento la corriente atraviesa el dieléctrico del condensador. Sólo se tra-

## Condensador con corriente alterna



ta de un efecto de carga y descarga sucesiva del condensador. Para entender bien todo lo anterior analizaremos lo que pasa en cada semiciclo de la corriente alterna, (figura 120).



Durante el semiciclo positivo, la placa A se carga positivamente y la placa B se carga negativamente como ocurre con una fuente de corriente continua, creando un flujo momentáneo de electrones que hace encender la lámpara.

Después de que el condensador se ha cargado en ese sentido, se descarga a través de la lámpara cuando no hay voltaje y ésta se enciende. Luego el condensador se carga con una polaridad contraria, la placa A es ahora negativa y la placa B es positiva.

Cuando el voltaje llega nuevamente a cero, el condensador se vuelve a descargar y la lámpara se enciende de nuevo.

Como los cambios de dirección de la corriente alterna (AC) se suceden muy rápidamente, la corriente fluirá por el circuito en forma permanente y por consiguiente la lámpara se mantendrá encendida.

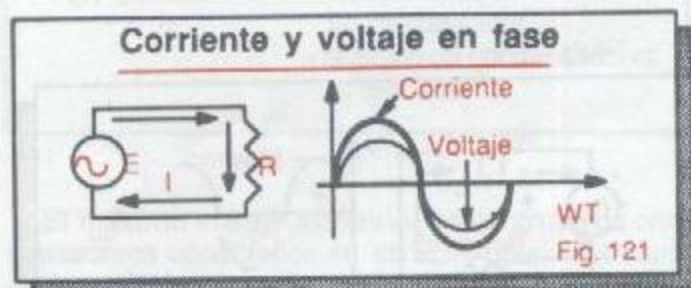
El efecto real de un condensador en un circuito de CA es producir un retraso del voltaje con respecto a la corriente. La causa de este fenómeno es que el voltaje acumulado en las placas del condensador es de signo contrario al de la fuente.



En otras palabras, un condensador se opone a los cambios del voltaje de CA. A este fenómeno se le llama *Reactancia* y específicamente se denomina *Reactancia capacitiva* en los condensadores.

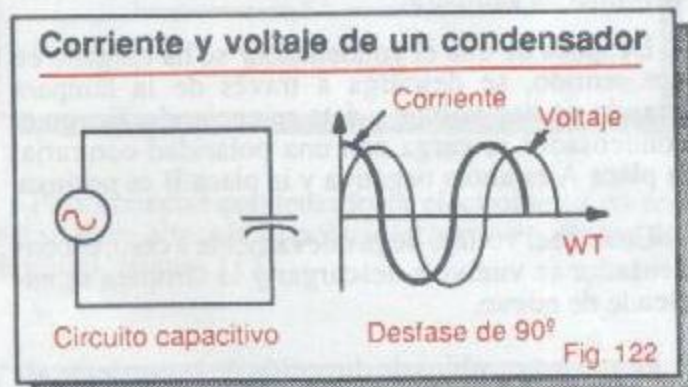
### Reactancia capacitiva

En un circuito que contiene solamente resistencia, el voltaje aplicado al circuito y la corriente circulante siempre estarán en fase. Esto significa que los valores máximos y mínimos de las curvas de voltaje y corriente se suceden al mismo tiempo y siempre tienen el mismo signo o polaridad. (figura 121).



En un circuito resistivo, el efecto que produce la corriente es el mismo si aplicamos CA o CC. En un circuito que contenga condensadores las cosas son diferentes, dependiendo del tipo de corriente aplicado ya sea CC o CA.

A un circuito formado por condensadores se le llama un circuito capacitivo. En él el voltaje se atrasa con respecto a la corriente, o lo mismo, la corriente se adelanta al voltaje. (figura 122).



El voltaje en un circuito capacitivo sufre un desfase o atraso de  $90^\circ$  con respecto a la corriente. Así, cuando la corriente alcanza su máximo valor, el voltaje tiene su mínimo valor y viceversa. En la gráfica anterior observamos que para cero grados ( $0^\circ$ ) la corriente ha alcanzado su máximo valor y el voltaje apenas va a empezar a tomar valores.

El desfase que ocasiona un condensador crea una oposición al paso de la corriente. Es una especie de resistencia resultante del desfase entre la corriente y el voltaje. A esta resistencia tan especial se le llama *Reactancia Capacitiva*, se expresa como  $X_c$  y se mide en *ohmios*, al igual que las resistencias.

En otras palabras, un condensador se comporta como una resistencia variable para señales o voltajes de corriente alterna y cuyo valor en ohmios depende de la frecuencia de la señal.

Este comportamiento es importantísimo y es el que hace posible el funcionamiento de muchos de los circuitos de radio.

### Cálculo de la reactancia capacitiva

La reactancia capacitiva de un condensador se puede calcular de forma muy sencilla mediante la siguiente fórmula:

$$X_c = \frac{1}{2\pi FC} \quad \text{Donde}$$

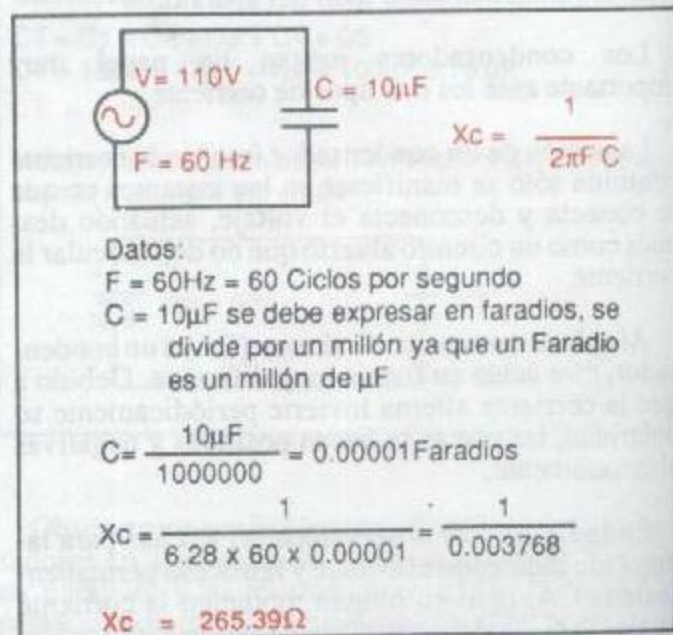
$X_c$  = Reactancia capacitiva dada en ohmios

$2\pi$  = Constante igual a 6.28 ( $2 \times 3.14$ )

$F$  = Frecuencia en ciclos por segundo del voltaje alterno aplicado

$C$  = Capacidad en faradios

Hallar la reactancia capacitiva del siguiente circuito:

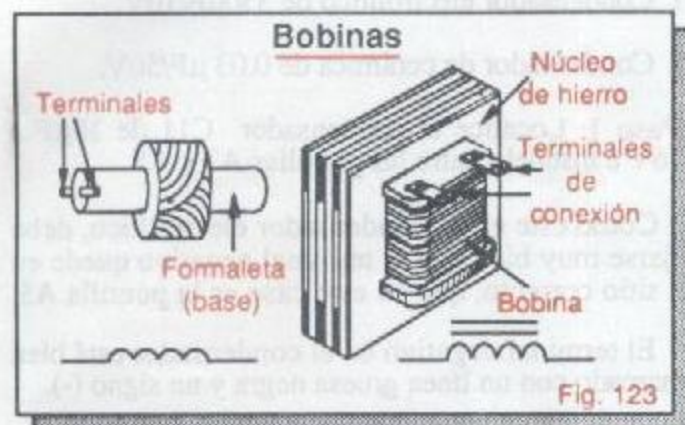




## Las bobinas

Las bobinas son uno de los componentes más utilizados en los circuitos de radio y comunicación tanto en los aparatos de transmisión como en los de recepción.

Una bobina es un componente formado por varias vueltas o *espiras* de alambre, enrolladas sobre una forma cilíndrica, cuadrada o rectangular. Las bobinas pueden tener un núcleo que generalmente es de hierro o ferrita. Cuando una bobina no tiene núcleo se dice que tiene *núcleo de aire*. (figura 123).



Las bobinas también reciben el nombre de *inductores* o *choques*.

La palabra inductor viene de *inductancia* que es un fenómeno eléctrico que ocurre en las bobinas y que explicaremos más adelante, y la palabra choque se deriva del efecto de oposición a la variación de la corriente que se produce en una bobina.

### Inductancia

En las bobinas ocurre un fenómeno de *oposición* a las *variaciones* de la corriente eléctrica.

En otras palabras, si la corriente en un circuito trata de subir o bajar y en ese circuito hay una bobina, ella se opone a que la corriente suba o baje.

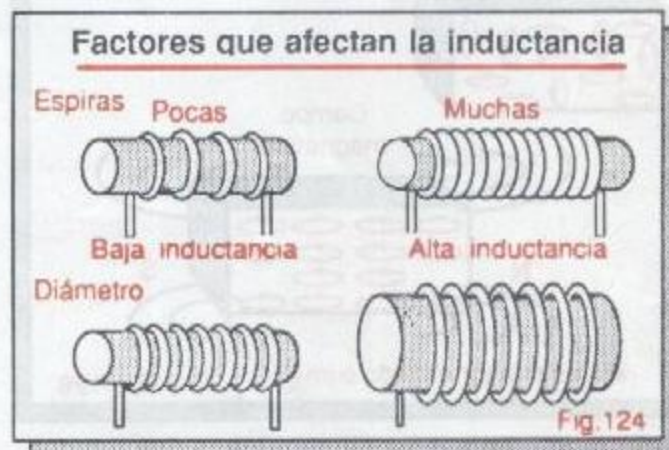
Este comportamiento es comparable a la *inercia* en un movimiento mecánico.

Si un cuerpo con determinado peso se está moviendo y tratamos de aumentar o rebajar su velocidad, hay una fuerza que se opone a ese cambio y que se llama inercia.

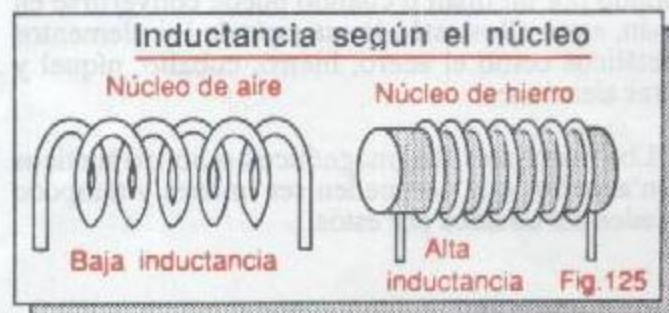
Esta oposición, que se presenta en las bobinas, se llama *inductancia*, se mide en *Henrios* y se representa por medio de la letra *Hy*.

Por lo tanto, la unidad de medida para las bobinas son los Henrios o *Hy*.

En los circuitos electrónicos actuales se utilizan bobinas pequeñas con inductancias de milihenrios (mH) o microhenrios (μH). La inductancia de una bobina depende de la cantidad y del diámetro de las *espiras*. A mayor diámetro, mayor inductancia y a mayor número de espiras, también la bobina tiene mayor inductancia. (figura 124).



La inductancia de una bobina también aumenta cuando tiene un núcleo de hierro u otro material magnético y es mayor que cuando tiene núcleo de aire. (figura 125).



Debido a que una bobina solamente reacciona ante las variaciones de la corriente, no se opone a la corriente continua (CC) y sólo presenta una oposición a la corriente alterna (CA).



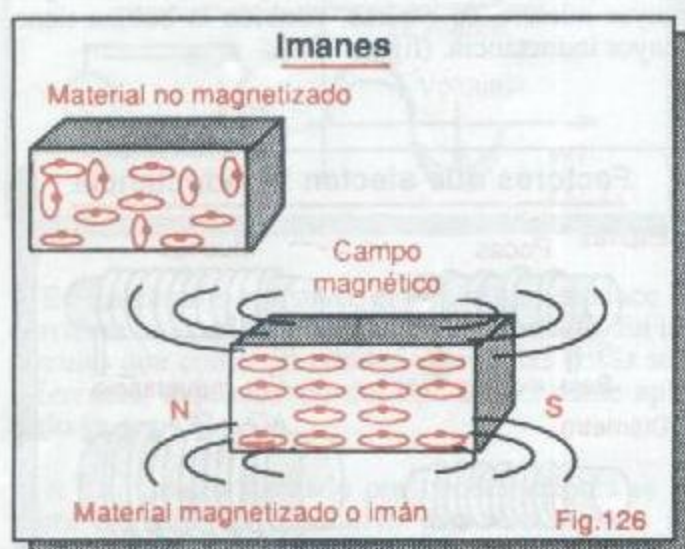
## Magnetismo

El magnetismo es la propiedad de atracción que presentan ciertos materiales hacia otros.

Estos materiales son conocidos también como *imanes*.

El magnetismo es producido por la atracción de los electrones.

En los imanes, los átomos están orientados de tal manera que los electrones giran en un mismo sentido, formando dominios en los extremos de los imanes, conocidos como polo norte y polo sur. (figura 126)



Un imán crea a su alrededor unas líneas de fuerza llamadas *campo magnético*.

### Materiales magnéticos y diamagnéticos

Un material es magnético cuando puede ser atraído por un imán o cuando puede convertirse en imán, entre ellos están la mayoría de los elementos metálicos como el acero, hierro, cobalto, níquel y otras aleaciones.

Los materiales diamagnéticos o no magnéticos son aquellos que no pueden ser imanes y tampoco pueden ser atraídos por éstos.

### Utilización de los imanes

Los imanes se utilizan en la construcción de motores eléctricos, generadores, parlantes, audífonos, micrófonos, instrumentos de medida y muchos otros componentes eléctricos y electrónicos.

## Actividad práctica N° 6

En esta actividad vamos a instalar en el tablero del radio los condensadores al circuito amplificador de audio o sea la etapa marcada con color azul en la lámina del diagrama del radio.

Recuerde las instrucciones para soldar correctamente, entregadas en las prácticas anteriores.

### Componentes necesarios

- 1 Condensador electrolítico de  $10\ \mu\text{F}/10\text{V}$  o  $10\ \mu\text{F}/16\text{V}$ .
- 1 Condensador electrolítico de  $47\ \mu\text{F}/10\text{V}$ .
- 1 Condensador electrolítico de  $330\ \mu\text{F}/10\text{V}$ .
- 1 Condensador de cerámica de  $0.03\ \mu\text{F}/50\text{V}$ .

**Paso 1:** Localice el condensador C11 de  $10\ \mu\text{F}$  a  $16\text{V}$  e instálelo entre las puntillas A3 y A5.

Como este es un condensador electrolítico, debe fijarse muy bien que el terminal negativo quede en el sitio correcto, que en este caso es la puntilla A5.

El terminal negativo en el condensador está bien marcado con una línea gruesa negra y un signo (-).

Deje los terminales de este condensador con su tamaño original ya que se debe colocar alejado, con el fin de dejar espacio para el potenciómetro RV, (control de volumen).

**Paso 2:** Localice el condensador de cerámica de  $0.03\ \mu\text{F}$ , éste puede estar marcado como .03, 303Z o 333Z.

Instale este condensador entre las puntillas A13 y A14, fijándose que quede en una posición recta.

**Paso 3:** Localice el condensador C13 de  $47\ \mu\text{F}/10\text{V}$  e instálelo entre las puntillas A23 y A26.

Como éste es electrolítico, fíjese que el terminal negativo quede en el sitio correcto según el diagrama, o sea en la puntilla A23.

**Paso 4:** Localice el condensador C14 de  $330\ \mu\text{F}/10\text{V}$  e instálelo entre las puntillas A31 y A38.

Fíjese bien en la conexión del terminal negativo que debe quedar en la puntilla A31.



## Electromagnetismo

Cuando por un conductor circula corriente se establece un flujo o movimiento de electrones en un sentido determinado. Ese movimiento de electrones crea a su alrededor un campo magnético, haciendo que el conductor se comporte como un pequeño imán. A este efecto magnético producido por la corriente eléctrica se le denomina *electromagnetismo*. (figura 127).

### Campo magnético en un conductor

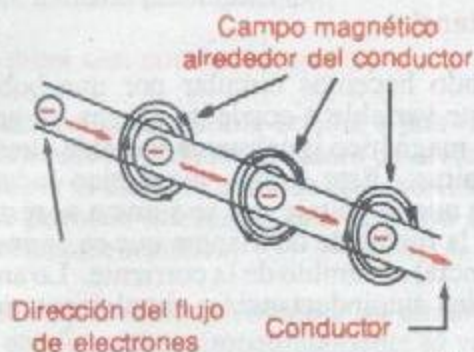


Fig.127

El electromagnetismo es muy importante en el funcionamiento de la mayoría de los aparatos eléctricos y electrónicos. Sin electromagnetismo no serían posible la radio, la televisión, los generadores de electricidad, los motores eléctricos y muchas otras maravillas.

### Formación de una bobina

El campo magnético alrededor de un conductor o cable recto es muy débil y no tiene utilidad en la práctica.

Para concentrar el campo electromagnético, el alambre se enrolla formando un carrete o bobina. Así, los campos se suman, dando como resultado un campo electromagnético muy fuerte.

En otras palabras, todo el conjunto se comporta como un potente imán.

Una bobina es el arrollamiento de dos o más vueltas de alambre para producir efectos electromagnéticos especiales. Una vuelta de alambre también se denomina *espira*.

A continuación analizaremos lo que sucede en una espira o vuelta de alambre.

Al circular corriente por la espira, el campo alrededor del conductor de una parte de la espira se refuerza con el de la parte restante y el conjunto constituye un campo total de mayor intensidad. (figura 128).

### Corriente en una espira



Fig.128

Si tenemos espiras o vueltas muy cercanas o unidas entre sí, el campo magnético resultante será muy fuerte. (figura 129).

### Campo magnético en una bobina

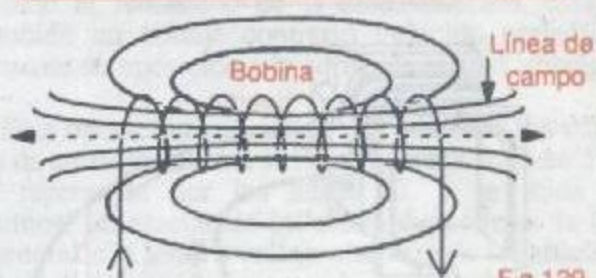


Fig.129

### Efectos de un núcleo en la bobina

Al introducir una barra de hierro o algún material magnético dentro de una bobina, obtendremos un electroimán, el cual presentará propiedades magnéticas idénticas a los imanes simples mientras circula corriente por la bobina.

No todos los materiales son buenos conductores de las líneas magnéticas. Algunos tienen mejores propiedades que otros. Por ejemplo: el aire tiene una capacidad magnética muy baja, mientras que el hierro cuenta con una alta propiedad magnética.

Por tal razón, una bobina con núcleo de hierro presenta capacidades magnéticas de atracción y repulsión muy elevadas. En cambio, en una bobina con núcleo de aire estas propiedades son muy bajas.



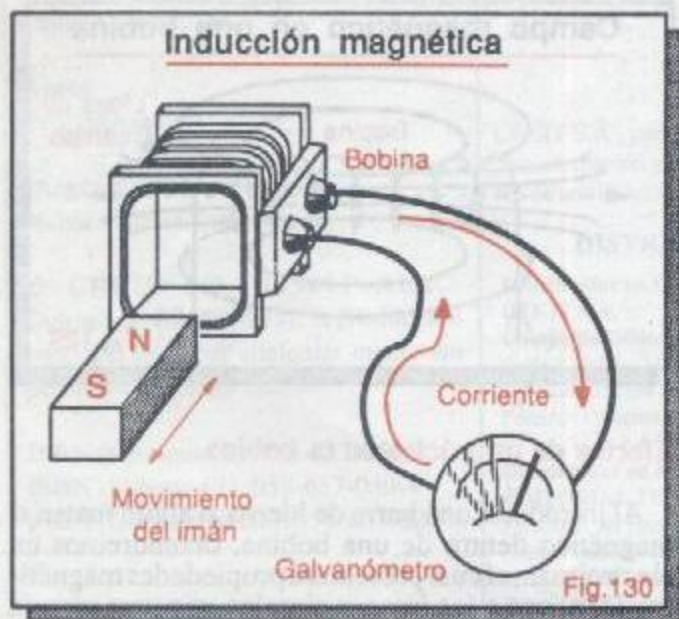
Además del fenómeno del electromagnetismo que se produce en una bobina debemos tener en cuenta, para entender su funcionamiento, el fenómeno contrario llamado inducción.

## Inducción

### Producción de electricidad por medio del magnetismo

Otro fenómeno muy importante en el electromagnetismo se manifiesta en la producción de electricidad por medio de imanes o campos magnéticos. A este fenómeno se le llama *Inducción Electromagnética*.

Si en los bornes de un galvanómetro, (aparato que mide pequeñas corrientes), conectamos los extremos de una bobina y luego tomamos un imán fuerte y lo movemos de un lado u otro en las cercanías de ésta, tal como muestra la figura 130, la aguja del galvanómetro se moverá, indicando que sobre los extremos del conductor se está generando una corriente eléctrica.



Cuando dejamos de mover el imán, la aguja del galvanómetro se detiene.

La deflexión de la aguja se hace más notoria cuando movemos el imán con mayor rapidez.

Para que haya generación de electricidad por este método, es necesario que se cumplan dos condiciones: primero, que el campo magnético esté en movimiento y, segundo, que las líneas de fuerza corten perpendicularmente al conductor.

Un voltaje que se produce en esta forma se denomina voltaje inducido, y, la corriente producida por el mismo, corriente inducida.

Resumiendo, podemos ver entonces que cuando aplicamos corriente a una bobina, ésta produce un campo magnético y que cuando aplicamos un campo magnético a una bobina, en ésta se produce corriente eléctrica.

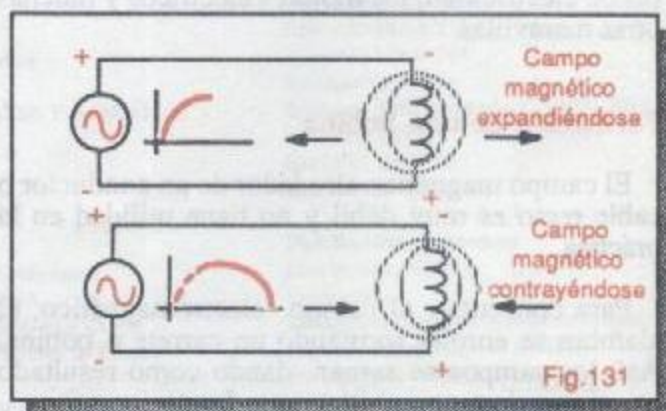
*La electricidad produce magnetismo y el magnetismo produce electricidad.*

De esta manera, nos podemos explicar entonces el fenómeno de la inductancia que habíamos mencionado brevemente al principio de la lección.

## Inductancia

Cuando hacemos circular por una bobina una corriente variable o corriente alterna, se genera un campo magnético igualmente variable alrededor de sus espiras. Este campo magnético induce, a su vez, un nuevo voltaje que se suma o se resta al voltaje de la fuente de tal manera que se opone (ofrece resistencia) al cambio de la corriente. Lo anterior se denomina autoinductancia o simplemente *inductancia*.

Consideremos los circuitos de la figura 131. Cuando el voltaje alterno aplicado en estos circuitos va en ascenso, la corriente en la bobina aumenta: esto produce un campo magnético que se extiende en torno a la bobina.



En ese momento, se induce un voltaje a través de la bobina de una polaridad contraria, restándose al voltaje de la fuente y oponiéndose así al cambio (aumento) de la corriente en la misma.

Cuando la corriente va en descenso, empieza a contraerse el campo magnético alrededor de la bobina. Como consecuencia, se invierte la polaridad del voltaje autoinducido en ella.



Este voltaje es ahora de una polaridad que se suma al voltaje de la fuente, tratando de impedir que la corriente disminuya.

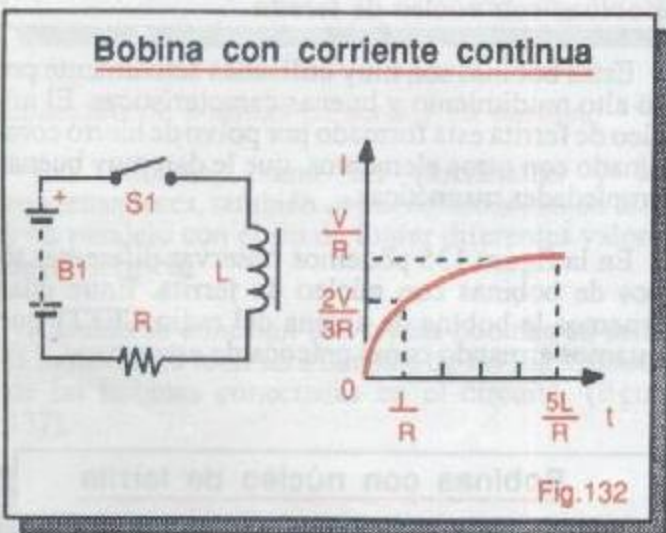
Durante la segunda mitad del ciclo (ciclo negativo) ocurre lo mismo. Cuando la corriente aumenta negativamente, el voltaje autoinducido es tal que tiende a impedir el aumento de la corriente. Debido a todo lo anterior, al voltaje autoinducido se le llama *contravoltaje* o *fuerza contra electromotriz* (F.C.E.M.).

Esta fuerza contraria u oposición es la que produce o genera la *inductancia*. Las bobinas se oponen a los cambios de corriente, debido a la inducción electromagnética producida sobre si mismas, lo que es llamado *autoinducción*.

### Una bobina con corriente continua

Cuando conectamos una bobina a una fuente de CC, solamente se produce el efecto de la resistencia ofrecida por el alambre con que está fabricada, pero con una pequeña diferencia con respecto a un circuito puramente resistivo.

Cuando aplicamos el voltaje a un circuito resistivo, la corriente toma inmediatamente su valor máximo cuando cerramos el suiche.



En cambio, en el circuito inductivo de la figura 132, (llamado así por estar formado de una inductor o bobina), la corriente se tarda un determinado tiempo para llegar al valor máximo.

A este tiempo se le llama *constante de tiempo* inductivo y depende de la inductancia en Henrios, de la bobina y de su resistencia.

Para calcularla, se utiliza la siguiente fórmula:

$$t = \frac{L}{R}$$

t = Constante de tiempo, en segundos

L = Inductancia de la bobina en Henrios

R = Resistencia de la bobina en Ohmios

Cuando en una bobina se desconecta un voltaje de CC, la corriente no cesa inmediatamente. El campo magnético, al reducirse rápidamente, genera una corriente en los terminales de la bobina, que aparece durante unos instantes después de suspenderse el voltaje. Por esto, se dice que las bobinas *almacenan corriente*, así como los condensadores almacenan o guardan voltaje.

### Una bobina con corriente alterna

Cuando aplicamos un voltaje de corriente alterna a una bobina, se producirá en ella un campo magnético que está variando continuamente. Por lo tanto, debido al fenómeno de la *autoinducción*, existirá también un voltaje contrario inducido permanentemente en oposición a la corriente alterna principal.

Esta oposición que ofrece una bobina a los voltajes de corriente alterna se llama *reactancia inductiva*, se representa por las letras XL y se mide en ohmios. La reactancia inductiva depende de la frecuencia de la señal o voltaje alterno y de la inductancia de la bobina.

La fórmula para encontrar la reactancia inductiva es la siguiente:

$$X_L = 6.28 \times F \times L; \text{ donde:}$$

X<sub>L</sub> = Reactancia inductiva, en Ohmios

F = Frecuencia en Hertzios o ciclos por segundo

L = Inductancia de la bobina, en Henrios



Por ejemplo, podemos hallar la reactancia de una bobina de 10 Henrys que está trabajando a una frecuencia de 60Hz.

$$X_L = 6.28 \times F \times L$$

$$X_L = 6.28 \times 60 \times 10$$

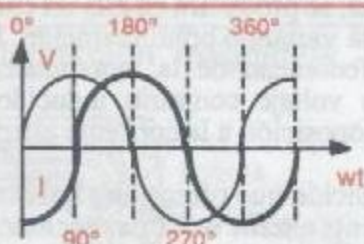
$$X_L = 3768 \text{ Ohmios}$$

El fenómeno de la reactancia inductiva y su dependencia de la frecuencia es fundamental para el funcionamiento de los circuitos de radio como veremos más adelante.

### Desfase de la corriente continua y el voltaje en una bobina

En una bobina, al contrario de un condensador, la corriente está atrasada con respecto al voltaje. Este retraso se debe a que la corriente está aumentando desde cero a su valor máximo, y en ese aumento es cuando se produce una mayor inducción de voltaje, tomando éste su máximo valor. (figura 133).

### Desfase de la corriente en una bobina



La corriente va atrasada 90° con respecto al voltaje

Fig. 133

## Tipos de bobinas

Las bobinas se clasifican por distintos aspectos. La principal división es la de bobinas *fijas* y *variables*. Las bobinas fijas tienen una *inductancia* estable que está dada por sus características físicas.

En las bobinas variables se puede cambiar su inductancia por medio de diferentes métodos.

Las bobinas también se dividen en varios tipos según el núcleo utilizado. Los principales tipos son las de núcleo de hierro, las de núcleo de aire y las de núcleo de ferrita. (figura 134).

### Bobinas con núcleo de hierro

Las bobinas con núcleo de hierro son las que tienen una inductancia mayor, ya que este tipo de núcleo aumenta considerablemente la inductancia.

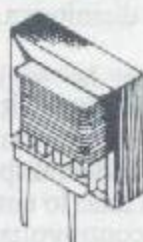
## Tipos de bobinas



Núcleo de aire



Núcleo de ferrita



Núcleo de hierro

Fig. 134

Este núcleo se fabrica con láminas en forma de E e I, que se van intercalando dentro de la bobina. Estas bobinas también reciben el nombre de *choques* y se encuentran en circuitos de baja frecuencia.

### Bobinas con núcleo de aire

Estas bobinas tienen una inductancia muy pequeña y se utilizan en circuitos de alta frecuencia, especialmente en los circuitos sintonizadores de los radios y transmisores de baja potencia. También se utilizan como *choques* de radiofrecuencia para eliminar ciertas señales indeseables en algunos circuitos.

### Bobinas con núcleo de ferrita

Estas bobinas son muy utilizadas actualmente por su alto rendimiento y buenas características. El núcleo de ferrita está formado por polvo de hierro combinado con otros elementos, que le dan muy buenas propiedades magnéticas.

En la figura 135 podemos observar diferentes tipos de bobinas con núcleo de ferrita. Entre ellas tenemos la bobina de antena del radio CEKIT que estamos armando como práctica de este curso.

### Bobinas con núcleo de ferrita



Bobina de antena del radio de CEKIT



Bobina, Alambre

Fig. 135

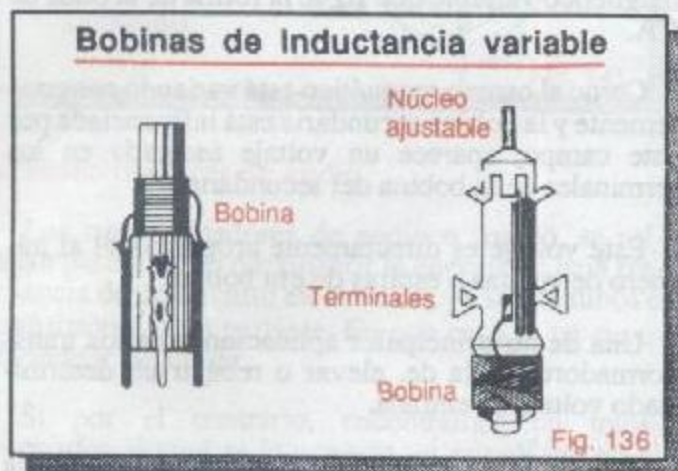


Un núcleo de ferrita puede aumentar la inductancia de una bobina de 1 milihenrio, hasta valores de 500 milihenrios.

### Inductancias o bobinas variables

En los circuitos transmisores y receptores de radio se utilizan con mucha frecuencia bobinas cuya inductancia puede alterarse.

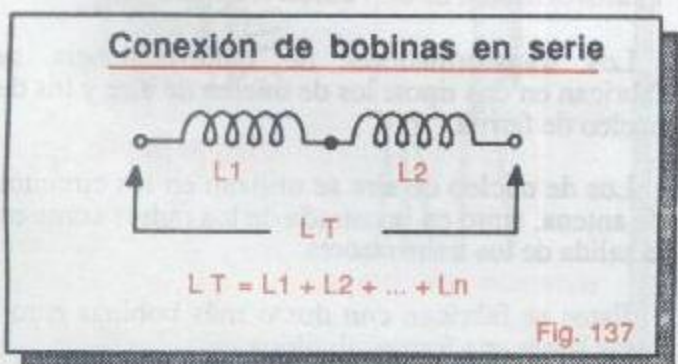
El principal método para producir esta variación es el de mover un núcleo de ferrita en forma cilíndrica dentro de la bobina. Este núcleo se fabrica en forma de tornillo para que se pueda ajustar fácilmente. En la figura 136 podemos observar diferentes tipos de bobinas variables.



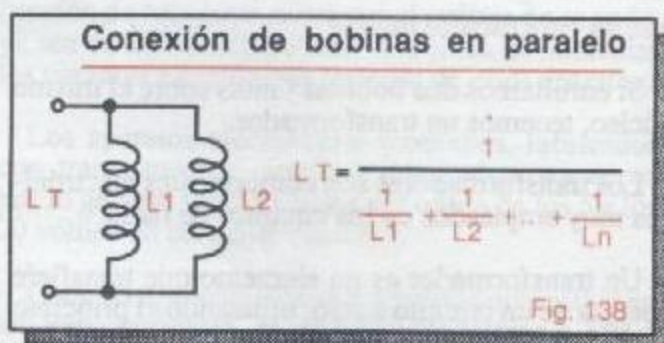
### Conexión de bobinas en serie y en paralelo

Las bobinas, como las resistencias y los condensadores, también se pueden conectar en serie y en paralelo con el fin de lograr diferentes valores de inductancia.

Cuando se conectan dos o más bobinas en serie, la inductancia total será la suma de las inductancias de las bobinas conectadas en el circuito. (figura 137).



Para bobinas en paralelo, la inductancia total se encuentra aplicando las mismas fórmulas que para resistencias en paralelo. (figura 138).



### Construcción de bobinas

Las bobinas son uno de los pocos componentes que podemos fabricar, ya que es muy fácil hacerlo. Además en la mayoría de proyectos que queramos realizar en forma experimental es necesario fabricar las bobinas, pues éstas no se consiguen en los almacenes especializados.

Estas bobinas se fabrican generalmente de alambre de cobre esmaltado, enrollado sobre una base o formaleta de material aislante. Generalmente, en los proyectos se especifica el número de espiras o vueltas, el diámetro y la longitud de la bobina.

Las bobinas se pueden fabricar a mano, enrollando cuidadosamente el alambre sobre una forma cilíndrica del diámetro indicado y asegurando los terminales del principio y del fin de la bobina para que ésta quede firme. Al alambre esmaltado se le debe quitar su aislante en los extremos para poder hacer las conexiones.

También podemos fabricar una herramienta muy útil, que nos puede ayudar para hacer bobinas de mejor calidad, por medio de un tornillo, un soporte y una manivela. (figura 139).





# Los transformadores

## Qué es un transformador

Si enrollamos dos bobinas juntas sobre el mismo núcleo, tenemos un transformador.

Los transformadores son componentes electrónicos muy empleados en los circuitos de radio.

Un transformador es un elemento que transfiere energía de un circuito a otro, utilizando el principio de la inducción electromagnética.

Por lo tanto, los transformadores sólo trabajan con señales o voltajes de corriente alterna.

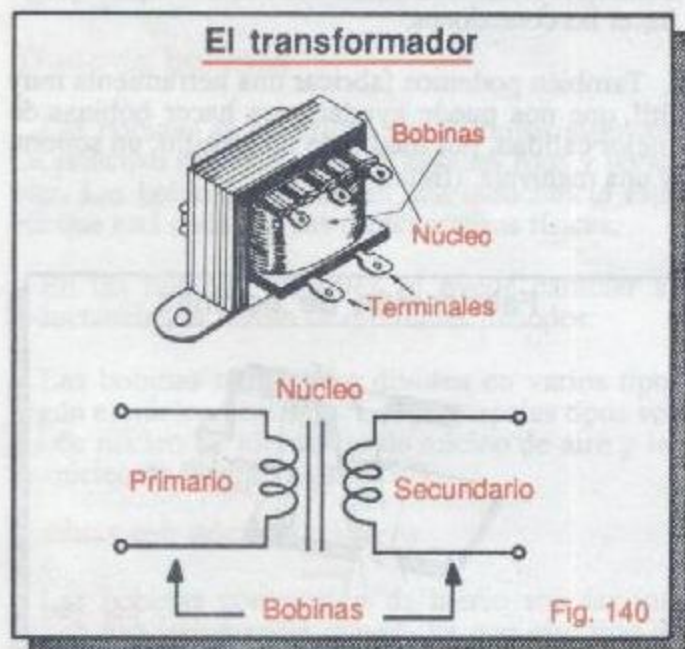
## Elementos de un transformador

Un transformador está formado básicamente por dos bobinas y un núcleo.

Este puede ser de aire, de hierro o de ferrita como en las bobinas.

La bobina, por la cual entra la energía, se llama bobina primaria o *primario* simplemente, y la otra bobina se llama *secundario*.

En la figura 140 podemos observar un transformador real y el símbolo empleado en los diagramas para este componente.



## Principio de funcionamiento

Durante el proceso de transferencia de energía en un transformador siempre se altera o *transforma* alguna característica de la señal de CA aplicada al *primario* o entrada.

Veamos ahora cómo se transfiere energía de una bobina a la otra sin estar conectadas físicamente.

Cuando se conecta una fuente de voltaje de corriente alterna al primario se produce un campo magnético variable que sigue la forma de la onda de CA.

Como el campo magnético está variando constantemente y la bobina secundaria está influenciada por este campo, aparece un voltaje *inducido* en los terminales de la bobina del secundario.

Este voltaje es directamente proporcional al número de vueltas o espiras de esa bobina.

Una de las principales aplicaciones de los transformadores es la de, elevar o rebajar un determinado voltaje de entrada.

Esto se logra enrollando una bobina secundaria con mas o menos vueltas que las de la bobina primaria.

## Tipos de transformadores

Los transformadores se clasifican principalmente por su aplicación en los diferentes circuitos y aparatos electrónicos.

Así, tenemos que los principales tipos son los de radiofrecuencia, los de audio o sonido y los transformadores de poder o potencia.

## Transformadores de radiofrecuencia

Los transformadores de radiofrecuencia se fabrican en dos tipos: los de núcleo de aire y los de núcleo de ferrita.

Los de núcleo de aire se utilizan en los circuitos de antena, tanto en la entrada de los radios como en la salida de los transmisores.

Estos se fabrican con dos o más bobinas enrolladas sobre una forma cilíndrica.



El tipo más conocido de núcleo de ferrita, es el llamado transformador de *frecuencia intermedia* o FI; tenemos tres en el radio de práctica de CEKIT y, están identificados como T1, T2 y T3. (figura 141).



### Transformadores de audio

Los transformadores de audio o sonido, se utilizan para adaptar o transferir la energía de baja frecuencia de un circuito electrónico, ya sea de tubos o transistores, a un parlante. En este caso es un *transformador de salida*.

Si por el contrario, encontramos un transformador al cual se le conecta un micrófono en el primario y su secundario está conectado a un amplificador de sonido, es un *transformador de entrada* y está cumpliendo también la función de acoplar la energía del micrófono al amplificador.

Podemos observar su forma general de conexión y su aspecto físico en la figura 142.



### Transformadores de poder

Los transformadores de poder, también llamados de alimentación o de potencia, son muy utilizados en casi todos los aparatos electrónicos y tienen la función de rebajar o aumentar el voltaje de entrada, ya sea de 110 ó 220 voltios, con el fin de alimentar los circuitos electrónicos internos de estos aparatos.

Los aparatos electrónicos modernos, fabricados con transistores y circuitos integrados, requieren por lo general voltajes bajos del orden de los 5 a los 20 voltios en corriente continua.

Como la alimentación que tenemos disponible en los tomacorrientes, es de corriente alterna a 110 ó 220 voltios, debemos rebajarla primero a bajo voltaje y luego convertirla a corriente continua.

Cuando el voltaje en el secundario es mayor que en el primario, se dice que es un transformador *elevador*, y cuando el voltaje en el secundario es menor, se dice que es un *reductor*.

Se puede tener el caso de transformadores de alimentación con varios secundarios en donde unos tienen voltaje mayor y otros menor.

Para que un transformador tenga más voltaje en el secundario, esta bobina debe tener más vueltas o espiras de alambre que el primario y si el transformador es reductor, el secundario debe tener menos espiras que el primario.

Esta relación de voltaje se llama *relación de transformación* o relación de espiras.

$$\text{Relación de espiras} = \frac{N_s}{N_p} = \frac{V_s}{V_p}$$

$N_s$  = Número de espiras del secundario

$N_p$  = Número de espiras del primario

$V_s$  = Voltaje del secundario

$V_p$  = Voltaje del primario

Los transformadores de poder o alimentación se fabrican también con núcleo en forma de láminas, de aleación especial de hierro y silicio, y en tamaños desde 1 centímetro hasta varios metros, como en el caso de los transformadores de distribución de energía de potencia que utilizan el mismo principio.



## La Impedancia

La impedancia, en términos generales, se refiere a la resistencia total de un circuito que contiene bobinas, condensadores y resistencias. Es decir, es el efecto resultante de las resistencias y las reactancias inductiva y capacitiva.

En los circuitos de radiofrecuencia, como en los radios, transmisores y televisores, donde tenemos este tipo de componentes en gran cantidad y señales de corriente alterna, la impedancia juega un papel muy importante para determinar el comportamiento de estos circuitos con respecto a la corriente y al voltaje.

En los circuitos con este tipo de componentes y con señales de corriente alterna, se aplica la Ley de Ohm al trabajar con la impedancia. La impedancia se representa con la letra  $Z$  y también se mide en ohmios.

La impedancia se encuentra con la siguiente fórmula:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Donde:

$Z$  = Impedancia en ohmios

$R$  = Resistencia en ohmios

$X$  = Reactancia en ohmios

### Circuitos combinados

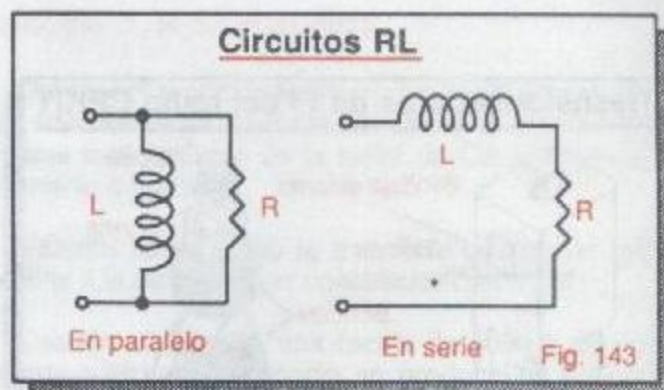
Ya hemos estudiado en forma individual algunos de los componentes más importantes de los circuitos de radio como son las resistencias, los condensadores, las bobinas y los transformadores.

Ahora vamos a ver cómo se pueden conectar estos componentes para formar diferentes circuitos combinados, muy utilizados en este tipo de aparatos.

Estos circuitos reciben también el nombre de *circuitos sintonizados*.

### Circuito RL

Los circuitos RL son aquellos que están compuestos por resistencias y bobinas conectadas en serie o en paralelo. (figura 143).



### Impedancia RL

Es la oposición total que ofrece a la corriente un circuito que contiene resistencias y bobinas.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Recordemos que la reactancia inductiva o  $X_L = 2\pi fL$ . ( $2\pi = 6.28$ )

Para calcular la corriente en un circuito RL se aplica la ley de Ohm:

$$I = \frac{V}{Z}$$

$Z$  = Impedancia

### Circuito RC

Los circuitos RC son aquellos que están formados por resistencias y condensadores. La impedancia de un circuito RC está dada por la siguiente fórmula:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

Recordemos que:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$2\pi = 6.28$$



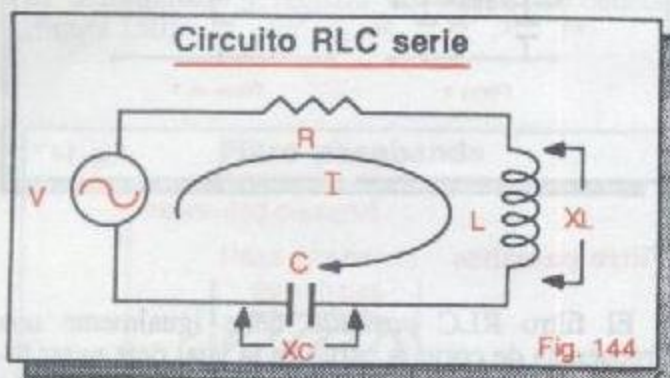
Hallando la impedancia, se puede aplicar la Ley de Ohm para calcular la corriente en el circuito.

## Circuito RLC

Son circuitos que contienen bobinas, condensadores y resistencias; que conectadas adecuadamente, conforman los circuitos de sintonía de los receptores de radio, televisores y radares, entre otros.

## Circuito RLC serie

El circuito RLC más sencillo está formado por una resistencia, una bobina y un condensador, conectados en serie. La fuente de alimentación con el símbolo de una onda seno dentro de un círculo representa una señal de corriente alterna. (figura 144).



Como habíamos dicho anteriormente, la reactancia capacitiva y la reactancia inductiva tienen efectos contrarios.

En el caso del condensador, la corriente se adelanta con respecto al voltaje y en la bobina la corriente se atrasa.

La combinación de estos dos efectos en un mismo circuito produce un fenómeno muy interesante, que es básico en la producción y amplificación de las señales de radiofrecuencia.

En la figura 145 vemos que la reactancia inductiva y capacitiva están desfasadas 180°, es decir, van en sentido opuesto y por lo tanto, sus efectos resistivos se contrarrestan mutuamente.

En un circuito que contenga inductancia y capacitancia, la reactancia total será igual a la reactancia mayor menos la reactancia menor.

Así  $X = X_L - X_C$

$X$  = reactancia total.

De esta manera, la impedancia total para un circuito RLC en serie, será:

## Angulos de las reactivancias

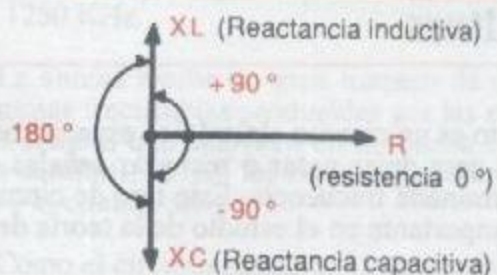
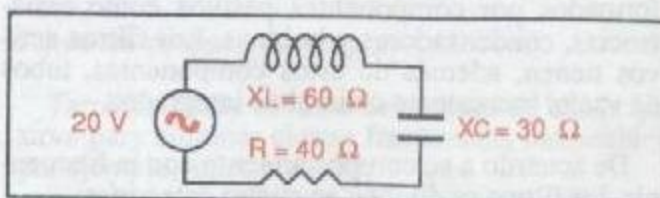


Fig. 145

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Ejemplo. Si tenemos el circuito siguiente:



Cuál será la impedancia total ?. Aplicando la fórmula:

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \\ Z &= \sqrt{(40)^2 + (60 - 30)^2} = \sqrt{1600 + 900} \\ Z &= \sqrt{2500} = 50 \Omega \end{aligned}$$

Cuando la reactancia capacitiva es igual a la reactancia inductiva, se dice que el circuito está en *resonancia*; tema del cual hablaremos ampliamente en una próxima lección.

## Circuito RLC en paralelo

En este tipo de circuito, los tres componentes básicos, resistencia, condensador y bobina se conectan en paralelo y el voltaje que se aplica a cada uno de ellos es el mismo. De igual manera que en el circuito RLC en serie, la corriente sufre un desfase en la bobina y en el condensador.

La mayor corriente circula por el elemento que presenta menor resistencia. La corriente que circula por la bobina, lleva sentido contrario a la corriente que circula por el condensador y si son iguales, se anulan mutuamente. Esto sucede cuando la reactancia capacitiva es igual a la reactancia inductiva, es decir, cuando el circuito entra en *resonancia*.



## Los filtros

Un filtro es un circuito electrónico especialmente diseñado para dejar pasar o rechazar señales con una determinada frecuencia. Este tipo de circuitos es muy importante en el estudio de la teoría de radio.

En otras palabras, un filtro selecciona cuál o cuáles señales pueden pasar de un punto a otro, en un circuito, dependiendo de su frecuencia en ciclos por segundo.

Hay dos grandes grupos de filtros: los filtros pasivos y los filtros activos.

Los filtros pasivos son aquellos que están formados por componentes pasivos como resistencias, condensadores y bobinas. Los filtros activos tienen, además de estos componentes, tubos de vacío, transistores o circuitos integrados.

De acuerdo a su comportamiento con la frecuencia, los filtros se dividen en cuatro categorías:

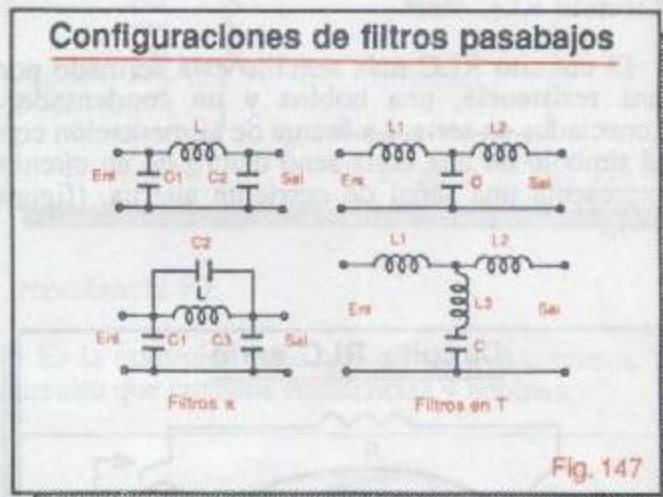
- 1) Filtros pasabajos
- 2) Filtros pasaaltos
- 3) Filtros pasabanda
- 4) Filtros de rechazo de banda

### Filtro pasabajos

Un filtro *pasabajos* es un circuito que deja pasar todas las frecuencias por debajo de la llamada frecuencia de corte o frecuencia límite. Las frecuencias más altas las atenúa o rebaja y por lo tanto no pueden pasar. (figura 146).

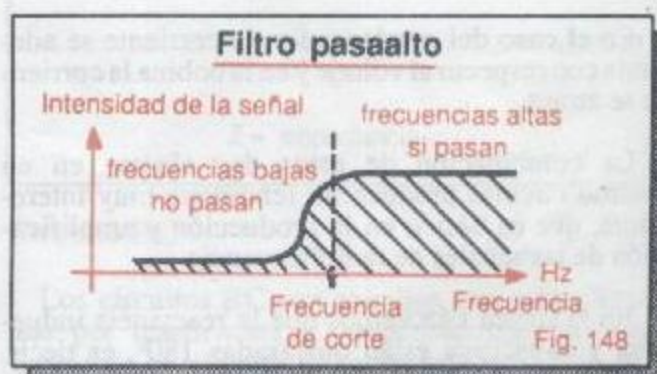


En la figura 147 mostramos las configuraciones más utilizadas en receptores:



### Filtro pasaaltos

El filtro RLC *pasaalto* tiene igualmente una frecuencia de corte, a partir de la cual deja pasar todas las frecuencias mayores, atenuando o anulando todas las señales que tengan una frecuencia menor. (figura 148).



En la figura 149 podemos ver los principales tipos de filtros pasaaltos pasivos, utilizados en los aparatos de radio y comunicaciones.

### Filtro pasabanda

El filtro *pasabanda* es aquel que deja pasar un conjunto o banda de señales dentro de un rango de frecuencias.



## Configuraciones de filtros pasaaltos

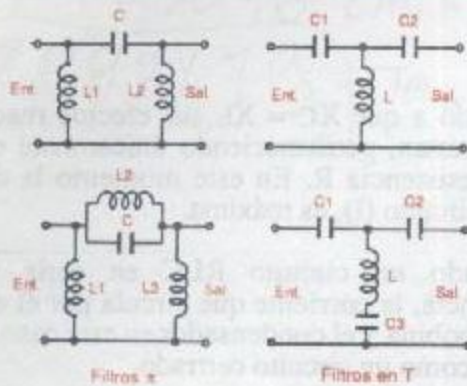


Fig. 149

También se dice que selecciona un *ancho de banda* determinado y rechaza las demás frecuencias. (figura 150).

## Filtro pasabanda



Fig. 150

La figura 151 muestra un filtro pasabanda, utilizado como etapa sintonizadora en un receptor de radio.

## Filtro pasabanda en un radio

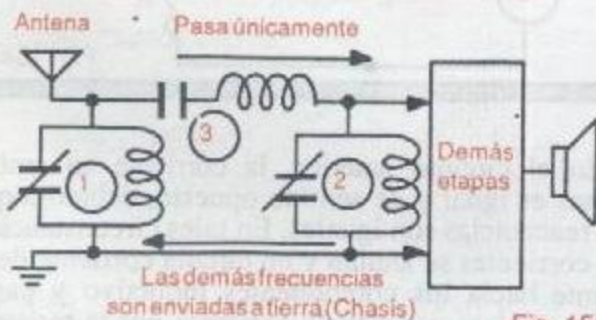


Fig. 151

Imaginemos que los tres circuitos están sintonizados para que respondan a una frecuencia de 1250 KHz.

La antena recibe un gran número de señales de distintas frecuencias producidas por las estaciones. Las señales que aparecen en la antena encuentran dos caminos: el que les ofrece el circuito paralelo (1) y el circuito serie (3).

Como el circuito paralelo (1) se comporta como un circuito abierto para la frecuencia de resonancia y un circuito cerrado para las demás frecuencias, todas las señales se van a tierra por este camino, excepto la señal de 1250 KHz (frecuencia de resonancia).

Debido a que el camino serie (3) se comporta como circuito cerrado para la señal de 1250 KHz, ésta puede circular por este camino llegando sin ningún problema a las demás etapas.

## Filtro de rechazo de banda

También existe el filtro de rechazo de banda que sirve para eliminar ciertas frecuencias indeseables, por ejemplo, interferencias.

Este filtro deja pasar todo el espectro de frecuencias, excepto una pequeña franja de él. (figura 152).

## Filtro de rechazo de banda



Fig. 152

En estas circunstancias la frecuencia resonante es atenuada.

Todos los sistemas de radio y comunicaciones están basados en sistemas de filtros de un tipo o de otro que, combinados adecuadamente, aceptan o rechazan ciertas señales.

Así podemos lograr que un receptor capte la señal que nosotros queremos ver o escuchar, de ahí su importancia en la teoría y práctica de radio.



## Resonancia

Habíamos mencionado anteriormente que si en un circuito RLC en serie o en paralelo, la reactancia inductiva era igual a la reactancia capacitiva, su efecto se cancelaba y se producía un fenómeno llamado *resonancia*.

Los circuitos resonantes son los que hacen posible la sintonización y amplificación de una sola señal de radio, que se selecciona entre la gran cantidad que llegan a la antena de un receptor de radio en un momento dado.

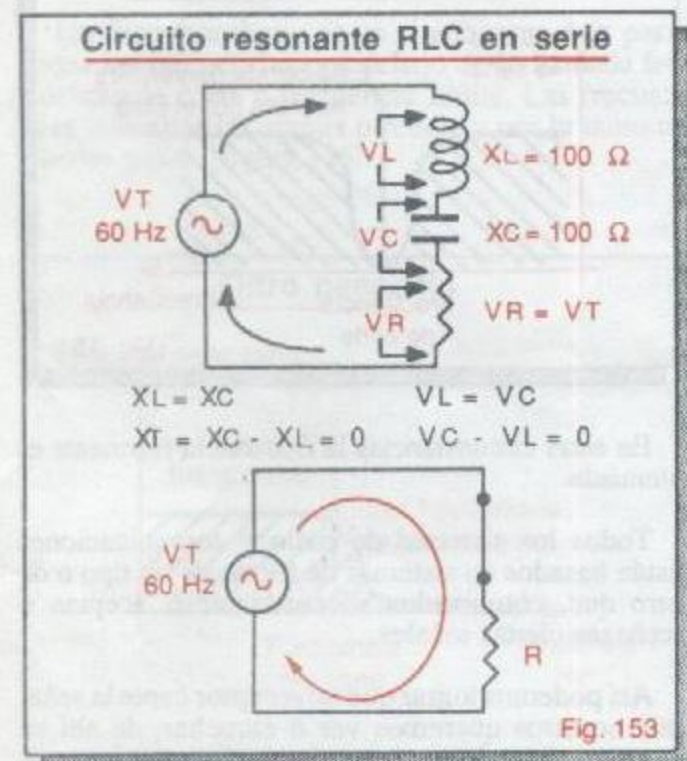
### Resonancia en serie

Un circuito RLC entra en resonancia solamente a una determinada frecuencia, cuando las dos reactancias son iguales.

A esta frecuencia se le llama *frecuencia de resonancia*.

Como ejemplo, consideremos el siguiente circuito, donde los valores de la bobina y el condensador son tales, que a una frecuencia de 60 Hz, sus reactancias son iguales. (figura 153).

$$X_C = X_L = 100\Omega$$



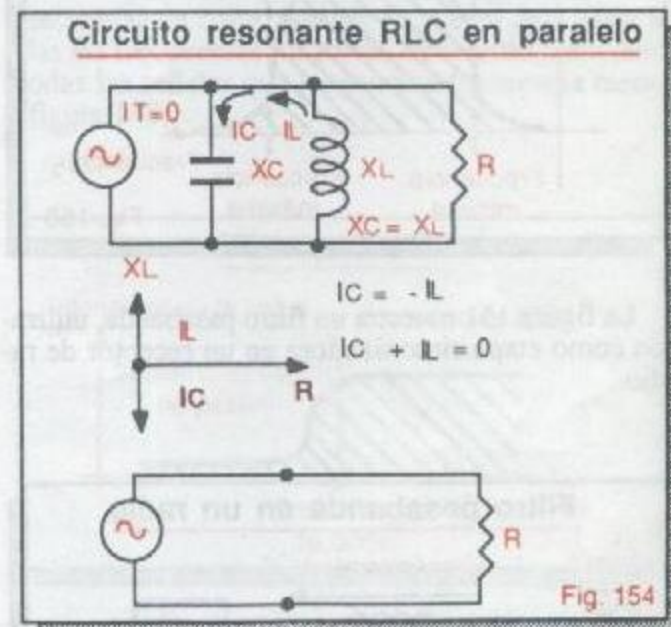
Debido a que  $X_C = X_L$ , sus efectos reactivos se contrarrestan, permaneciendo únicamente el efecto de la resistencia  $R$ . En este momento la corriente por el circuito ( $I$ ), es máxima.

Cuando un circuito RLC en serie está en resonancia, la corriente que circula por él es máxima; la bobina y el condensador en este caso se comportan como un circuito cerrado.

Si cambiamos la frecuencia de la fuente o señal, el circuito sale de resonancia (pierde sintonía) ya que se afectan las reactancias inductivas y capacitivas puesto que cada una responde diferente a las frecuencias, haciéndose  $X_C$  diferente a  $X_L$ .

### Resonancia en paralelo

Al igual que los circuitos RLC serie, la resonancia en paralelo se presenta cuando  $X_C = X_L$ . Sin embargo, la respuesta de los circuitos resonantes en paralelo a la frecuencia de resonancia, es opuesta al circuito en serie. (figura 154).



En el circuito anterior, la corriente en ambas ramas es igual y de sentido opuesto, debido a que las reactancias son iguales. En tales circunstancias, las corrientes se anulan y no circula corriente de la fuente hacia los componentes inductivo y capacitivo. Solamente circula corriente por la resistencia.



Al suceder lo anterior, la bobina y el condensador en conjunto, se comportan como un circuito abierto, o sea, su impedancia es muy alta.

El intercambio de energía entre el condensador y la bobina, que genera la corriente por ellos circulante, se conserva permanentemente dentro del circuito resonante en paralelo y puede ser empleado para ciertos propósitos; por esta razón, a los circuitos resonantes en paralelo, se les denomina "circuitos tanque" debido a su poder de acumular energía.

### Frecuencia de resonancia

Todo circuito que contenga bobinas y condensadores, resuena a una frecuencia determinada llamada condición de resonancia o frecuencia de resonancia, FR. Para que esto ocurra, las dos reactancias deben ser iguales:

$$X_L = X_C$$

Como:

$$X_L = 6.28 \times FR \times L$$

y

$$X_C = \frac{1}{6.28 \times FR \times C}$$

Si reemplazamos  $X_L$  y  $X_C$  por sus respectivas expresiones tenemos:

$$X_L = X_C$$

$$6.28 \times FR \times L = \frac{1}{6.28 \times FR \times C}$$

$$(6.28 \times FR \times L) \times (6.28 \times FR \times C) = 1$$

$$(6.28)^2 \times FR^2 \times LC = 1$$

De lo anterior, podemos encontrar la frecuencia a la cual llamamos frecuencia de resonancia.

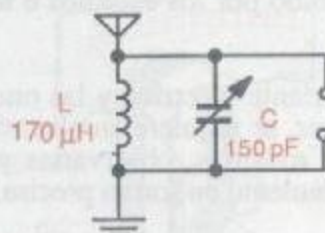
$$FR^2 = \frac{1}{(6.28)^2 \times LC}$$

$$FR = \frac{1}{(6.28) \times \sqrt{LC}}$$

$$FR = \frac{0.159}{\sqrt{LC}}$$

### Ejemplo:

Supongamos que tenemos el circuito de sintonía de un radio, compuesto por un condensador variable y una bobina de antena conectados en paralelo.



Qué frecuencia de resonancia, o en otras palabras, qué emisora se sintonizará, si el condensador variable queda en una posición cuya capacidad es de 150 pF (picofaradios).

Recordemos que:  $1\mu H = 10^{-6}H$  y  $1pF = 10^{-12}F$

Aplicando la fórmula tenemos:

$$FR = \frac{0.159}{\sqrt{LC}} = \frac{0.159}{\sqrt{170 \times 10^{-6} \times 150 \times 10^{-12}}}$$

$$FR = \frac{0.159}{1.59 \times 10^{-7}} \approx 1.000.000 \text{ Hz}$$

o FR = 1.000 KHz. Esto quiere decir que en esa posición del condensador variable se sintoniza la emisora que transmite a 1000 Kilohertz o 1000 Kilociclos. Más adelante, al avanzar el curso, estaremos utilizando este importante concepto de la frecuencia de resonancia al analizar las diferentes etapas del radio.



# Los instrumentos de medida

## Introducción

Hemos hablado, al iniciar este curso, de las ondas de radio, de la corriente eléctrica, del voltaje, de la resistencia y de los circuitos eléctricos. También se ha mencionado el tema de la corriente alterna, la corriente continua, la amplitud, la frecuencia y las formas de onda.

Estudiamos además los principales componentes electrónicos utilizados en los aparatos de transmisión y recepción de radio y también se estudiaron la impedancia, los filtros y la resonancia.

Todos estos fenómenos y componentes relacionados con los aparatos de radio, tienen un comportamiento establecido por los estudios e investigaciones.

Como la corriente eléctrica y las ondas de radio no se pueden ver, se requiere en electrónica de *instrumentos* para medirlas, observarlas y determinar así su comportamiento en forma precisa.

Simultáneamente, con el desarrollo de los componentes y los circuitos electrónicos, se han creado una gran cantidad de instrumentos de todo tipo que nos sirven para el diseño, reparación y mantenimiento de estos aparatos.

No se puede concebir un ingeniero, un técnico o un aficionado a la electrónica que no conozca y pueda utilizar los instrumentos electrónicos de medida.

Existen actualmente desde instrumentos muy sencillos, para realizar medidas simples, hasta complejos aparatos de gran precisión controlados por computador y que requieren de mucho estudio y entrenamiento para conocer su manejo y aplicación.

Siendo este tema fundamental en cualquier curso de electrónica, vamos a estudiar el manejo y aplicación de los instrumentos necesarios para ensamblar, ajustar o reparar los aparatos de recepción y transmisión de radio.

## Tipos de instrumentos

Existen dos grandes grupos o familias de instrumentos: los análogos y los digitales.

Inicialmente, y hasta hace pocos años, todos los instrumentos eran del tipo análogo o analógico que

utilizan una aguja que se mueve sobre una escala, para indicar el valor medido en ese momento.

Desde hace unos años, y haciéndose cada vez más notoria, hay una tendencia hacia el desarrollo y aplicación de instrumentos electrónicos digitales en los cuales la indicación es del tipo numérico, mostrando directamente la medida en forma de dígitos.

En la figura 155, podemos observar la diferencia fundamental entre estos dos tipos de instrumentos al medir una magnitud de 4.2 voltios, por ejemplo.



La mayoría de los instrumentos electrónicos, se utilizan para medir magnitudes eléctricas como el voltaje, la corriente y la resistencia.

Otros se utilizan para medir el valor o la calidad de los componentes como las resistencias, los condensadores, las bobinas, los diodos, los transistores, etc. A estos grupos se les llama instrumentos de medida.

Hay otro grupo de instrumentos que producen señales que se aplican a los circuitos para observar



y verificar su funcionamiento. Estos se llaman los generadores de señal de baja y alta frecuencia y son muy utilizados en los circuitos de radio.

Otro instrumento muy común en electrónica es el *osciloscopio*, que permite visualizar las formas de onda de las señales presentes en los diferentes puntos de un aparato y que también es muy útil para la medida del voltaje, la corriente y la frecuencia de estas señales.

Los técnicos y aficionados pueden fabricar sus propios instrumentos que sean útiles para su trabajo. Durante este curso, suministraremos toda la información para la realización de algunos de estos proyectos.

### Principio básico de funcionamiento

Los instrumentos electrónicos de medida se basan en su mayoría en la medida de la corriente eléctrica que circula por ellos.

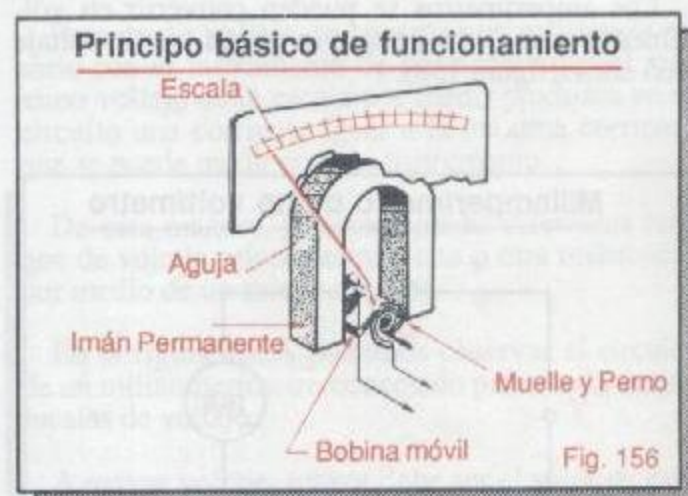
Para derivar de la cantidad de corriente, una medida de su magnitud o tamaño, se utiliza el principio del *electromagnetismo*, o sea el uso del campo magnético que se produce alrededor de un conductor, cuando circula corriente eléctrica por él.

El primer trabajo que dió origen a los instrumentos de aguja fue elaborado por A.D'Arsonval en 1882 al desarrollar un *galvanómetro* utilizado para medir corrientes eléctricas muy débiles, en los laboratorios de la época. En el año de 1888, E. Watson modificó el galvanómetro y lo adaptó para

medir corrientes más grandes y redujo su tamaño considerablemente. Sin embargo, a los instrumentos modernos todavía se les conoce como del tipo D'Arsonval.

El medidor básico se conoce como de *bobina móvil* en donde una bobina, a la cual está conectada la aguja, se mueve dentro de un campo magnético generado por un imán permanente.

El desplazamiento de la bobina depende de la cantidad de corriente que circula por ella, y como la aguja se mueve simultáneamente con la bobina, nos muestra en una escala, debidamente trazada o calibrada, la magnitud o tamaño de esa corriente. En la figura 156 podemos observar la construcción y el funcionamiento básico de este instrumento.



### Características básicas de un medidor de corriente

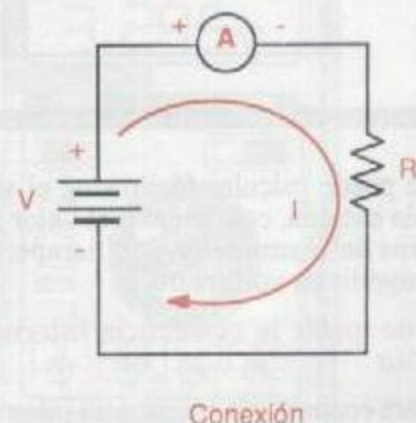
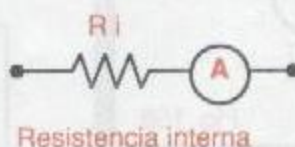
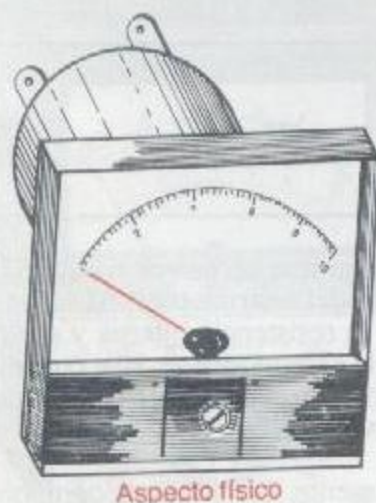


Fig. 157



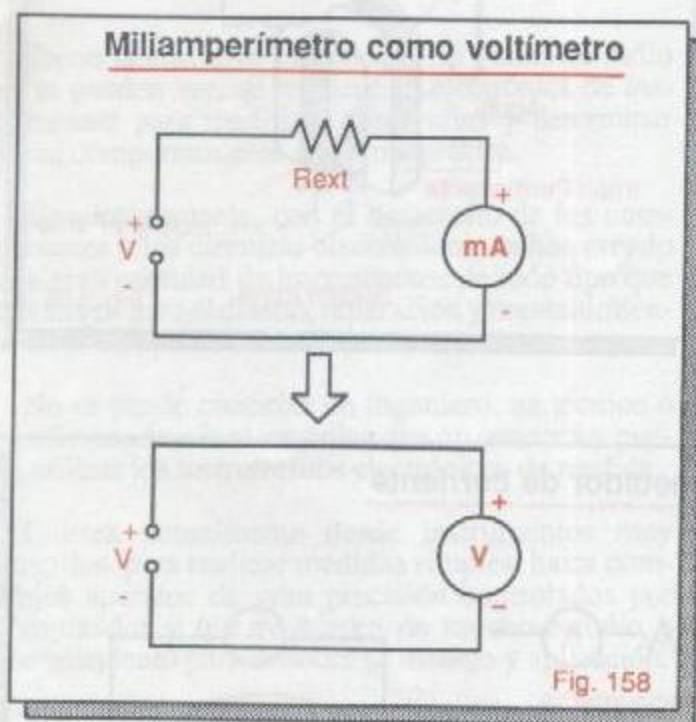
## Características de un instrumento

Los instrumentos básicos de bobina móvil están fabricados para medir corriente y se llaman microamperímetros, miliamperímetros o amperímetros y deben estar conectados en serie con el circuito.

La bobina del instrumento presenta una cierta resistencia que hace que circule una determinada corriente por ella. A esta resistencia se le llama *resistencia interna* y está directamente relacionada con la escala de corriente que se va a medir. Así tenemos medidores de  $50\ \mu\text{A}$ ,  $500\ \mu\text{A}$ ,  $1\ \text{mA}$ ,  $100\ \text{mA}$ ,  $1\ \text{Amp}$ ,  $5\ \text{Amp}$ , etc. (figura 157).

La resistencia interna será menor mientras más grande sea la escala de corriente que mide el instrumento.

Los amperímetros se pueden convertir en voltímetros con el fin de que se pueda medir voltaje con ellos. (figura 158).

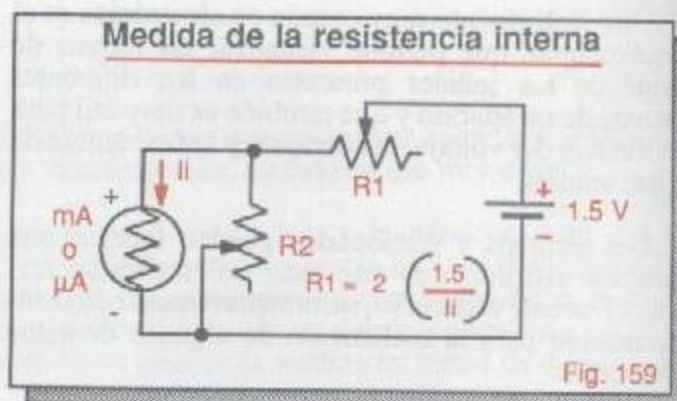


Se puede calcular fácilmente el valor de la resistencia externa, conociendo el valor de la resistencia interna del instrumento o miliamperímetro que se va a convertir en voltímetro.

### Cómo medir la resistencia interna de un instrumento

Para encontrar la resistencia interna de un miliamperímetro o de un microamperímetro, no se debe medir con un multímetro común, pues éste puede presentar un voltaje más alto del que soporta la bobina y se puede dañar.

Para hacerlo, se debe armar el circuito que se muestra en la figura 159.



Primero se conecta la pila, luego el potenciómetro  $R_1$ , que debe ser de un valor del doble de ohmios que el necesario para lograr la deflexión a lo máximo de la escala y el instrumento, dejando  $R_2$  desconectado.

Se debe ajustar el potenciómetro  $R_1$  hasta que la aguja llegue al final de la escala. Luego conecte el potenciómetro  $R_2$  y gradúe el cursor hasta que el instrumento indique una lectura a la mitad de la escala.

En ese momento, el valor de  $R_2$  es el mismo que el valor de la resistencia interna del instrumento. Retírelo del circuito con cuidado para no mover el cursor y mida su valor con un multímetro común. En la siguiente lección se estudia la forma de hacerlo.

Conociendo el valor de la resistencia interna hallamos el valor de la resistencia externa así: Primero calculamos por la ley de ohm la resistencia total del circuito:

$$R_T = \frac{V}{I}$$

$V$  es el voltaje que se quiere medir e  $I$  es la corriente máxima del instrumento. Al valor calculado  $R_T$  se le resta la resistencia interna y ese es el valor de la resistencia externa que se debe conectar al miliamperímetro o microamperímetro para que se pueda utilizar como voltímetro.

Simultáneamente, con algunos componentes externos, se puede armar un óhmetro, que es el instrumento utilizado para medir el valor en ohmios de las resistencias, como veremos en la siguiente lección.



## El multímetro electrónico

Para los trabajos de los técnicos y aficionados existe un instrumento muy versátil que reúne en un sólo aparato la posibilidad de medir corriente, voltaje y resistencia, en varias escalas o rangos. A este instrumento se le llama multímetro o comúnmente *tester*.

De los multímetros también hay dos grandes grupos: los multímetros análogos y los multímetros digitales. Estos últimos son los que más se utilizan actualmente. En la figura 160 tenemos un multímetro de cada tipo.

Internamente, un multímetro es un medidor de corriente muy sensible que tiene una escala graduada en varias unidades y tipos de medición.

Para medir diferentes magnitudes de corriente, se le conectan resistencias en paralelo al instrumento básico.

A esta resistencia se le conoce como "shunt" y su valor depende de la máxima corriente que se va a medir.

En la figura 161 tenemos un circuito de un miliamperímetro al cual se le han conectado varias resistencias en paralelo. En la lección 6, página 63 de este curso, vimos cómo la corriente se distribuía a través de las diferentes resistencias según su valor

en ohmios. De acuerdo a esto, podemos medir diferentes escalas de corriente con un sólo instrumento, seleccionando las diferentes resistencias mediante un suiche rotatorio.

En cada caso, la resistencia conectada absorbe el mayor valor de corriente y por el instrumento o miliamperímetro siempre circulará la misma corriente, pero su aguja indicará un valor diferente de acuerdo a la escala.

### Cómo se mide el voltaje

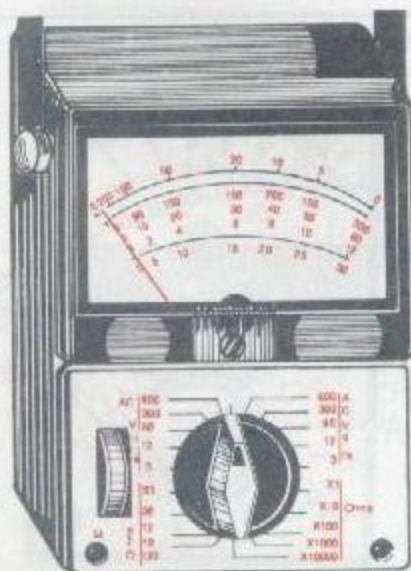
Para medir voltaje, se conecta una resistencia en serie con el instrumento de tal manera que el máximo voltaje de la escala por medir produzca en el circuito una corriente igual a la máxima corriente que se puede medir con ese instrumento.

De esta manera, podemos medir diferentes rangos de voltaje seleccionando una u otra resistencia por medio de un suiche selector.

En la figura 162A podemos observar el circuito de un miliamperímetro conectado para medir varias escalas de voltaje.

A mayor voltaje, mayor debe ser el valor de esta resistencia conectada en serie.

### Tipos de multímetros



Análogo

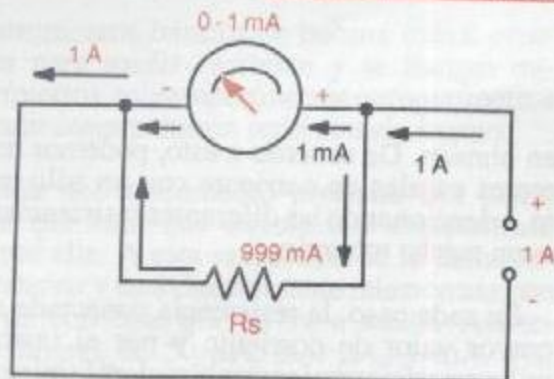


Digital

Fig. 160



### Medidor de corriente en varias escalas



**Círculo básico**

La resistencia de "shunt"  $R_s$  debe ser 999 veces menor que la resistencia  $R_i$  del instrumento

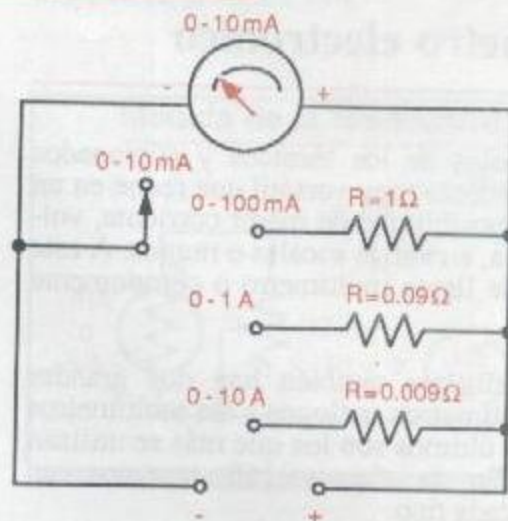


Fig. 161

Para cada una de las escalas seleccionadas, debe haber una escala marcada en el tablero del instrumento. (figura 162B).

### Cómo se miden las resistencias

Para la medición de resistencias, que es la otra función de los multímetros, se utiliza una pila o batería interna para formar un circuito que al conectarse a la resistencia que se va a medir, varíe la corriente que circula por el instrumento básico.

Dependiendo del valor de esa resistencia, la deflexión o movimiento de la aguja marca un valor en ohmios en una parte de la escala especialmente señalada para la medida de las resistencias.

En la figura 163, se muestra el diagrama de uno de estos circuitos que se encuentra dentro de los multímetros y que recibe el nombre de óhmetro.

Para cambiar el instrumento como medidor de corriente a medidor de voltaje, o a medidor de los ohmios de las resistencias y, además, cada medida en varias escalas, éste tiene un suiche selector de varios circuitos y varias posiciones que nos selecciona las diferentes resistencias, que se conectan en cada caso al medidor básico de corriente.

Todos estos circuitos agregados al instrumento básico y a la perilla selectora de rangos forman el multímetro completo que se puede ver en uno de sus tantos tipos en la figura 164.

### Un miliamperímetro midiendo voltaje en varias escalas

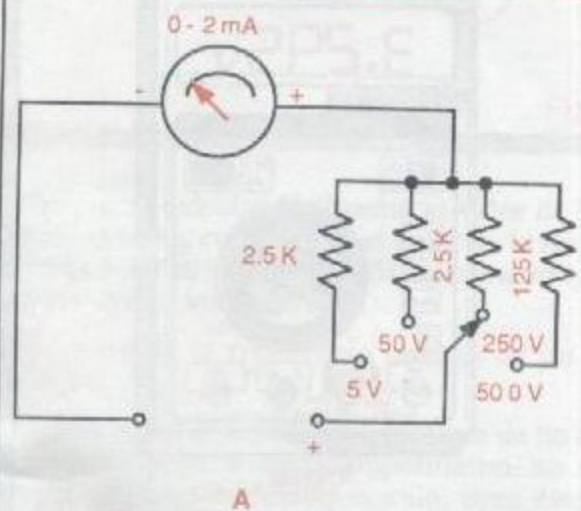


Fig. 162



### Circuito para medir ohmios

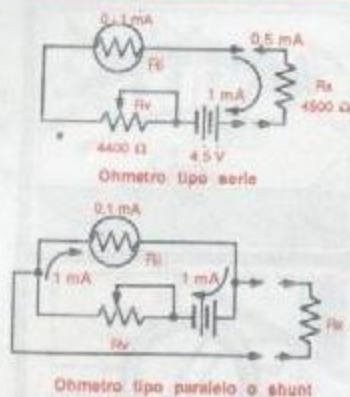


Fig. 163

## Manejo del multímetro

El multímetro es el instrumento más utilizado en el estudio y práctica de la electrónica.

En este curso de radio lo vamos a utilizar mucho para probar los componentes y los circuitos que vamos ensamblando, hasta terminar nuestro radio de práctica.

Tales conocimientos serán muy útiles para la reparación y ensamble de todo tipo de aparatos electrónicos. Vamos a estudiar primero el manejo del multímetro análogo y después el manejo del multímetro digital.

En este momento del curso, le recomendamos que adquiera, si no lo tiene, un multímetro, que le

será de gran utilidad con el fin de que vaya realizando las prácticas que se van mencionando.

Inicialmente, puede conseguir un multímetro sencillo y de bajo costo con el fin de estudiar su manejo y luego, cuando tenga buena experiencia puede conseguir uno más sofisticado y completo.

Cuando vaya a comprar el multímetro fíjese que tenga las siguientes características:

- Dos o tres escalas para medir ohmios.
- Posibilidad de medir voltajes en corriente continua y corriente alterna en varias escalas, 10V, 30V, 100V y 300V como mínimo.
- Capacidad de medir corriente en varias escalas, 10mA, 30 mA, 100 mA y 300 mA, o con valores similares.

Con estas posibilidades, usted ya tiene el instrumento necesario para seguir satisfactoriamente este curso y poder realizar las prácticas sobre instrumentos de medición.

Básicamente, el manejo del multímetro consiste en la ubicación correcta de la perilla selectora de rangos y funciones y en la instalación adecuada de las puntas de prueba en el componente, o en la parte del circuito que vamos a medir.

Inicialmente, estudiaremos la forma de medir las resistencias, después cómo se mide el voltaje en corriente continua y corriente alterna y por último, cómo se mide la intensidad de corriente en miliamperios o amperios.

### Multímetro análogo

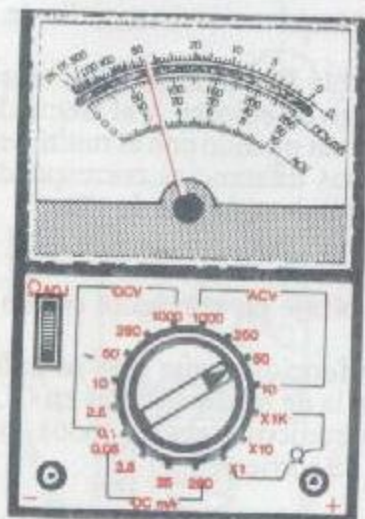


Fig. 164

### Medición de resistencias

Como sabemos, las resistencias se miden en ohmios y son los componentes que más se encuentran en el radio de prácticas de este curso y en la mayoría de los circuitos electrónicos.

Para medir su valor en ohmios, debemos colocar la perilla selectora en la escala correspondiente a su valor. Los multímetros traen varias escalas para medir las resistencias y están marcadas como Rx1, Rx10, Rx100, Rx1K, Rx10K, etc.

Algunos vienen marcados como  $\Omega x1$ ,  $\Omega x10$ ,  $\Omega x100$ , etc. o simplemente  $x1$ ,  $x10$ ,  $x100$ , etc.

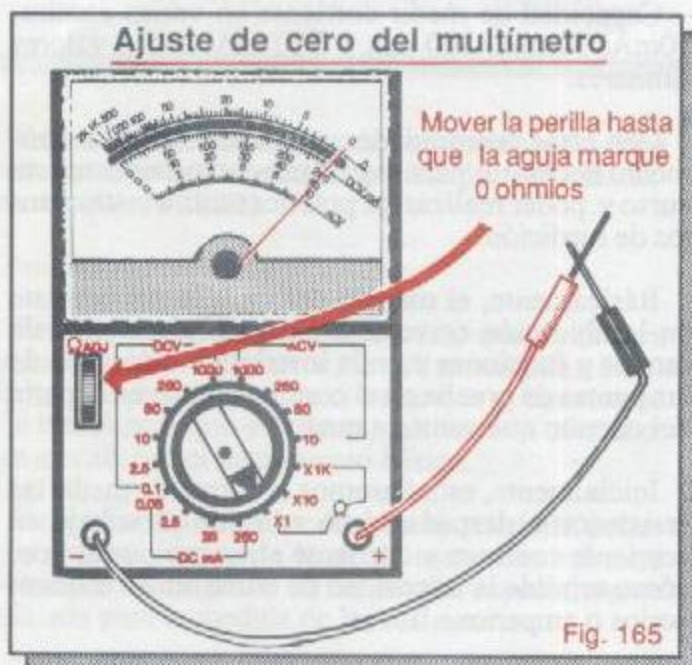
La parte de  $R \times n$  nos indica que el valor medido se multiplica por el número  $n$  que sigue a la escala. Así, si medimos una resistencia y nos marca 22 en la escala, y la perilla selectora está en el rango  $R \times 1K$ , el valor de la resistencia es de  $22K\Omega$ , o 22.000 ohmios.



Si se va a medir una resistencia de muchos ohmios, se debe colocar la perilla en una escala alta como la de  $R \times 10K$ . Si la aguja casi no se mueve, se debe pasar la perilla a la escala más baja siguiente, hasta que se pueda leer claramente el valor.

Para resistencias de bajo valor, se debe poner la perilla en la escala menor o sea  $R \times 1$  o  $\Omega \times 1$ .

Para medir una resistencia, lo primero que se debe hacer es ajustar la medida de *cero ohmios*, lo que se logra uniendo las dos puntas de prueba del multímetro y moviendo una perilla especialmente destinada a este propósito, colocándola en  $0\Omega$ , (figura 165).



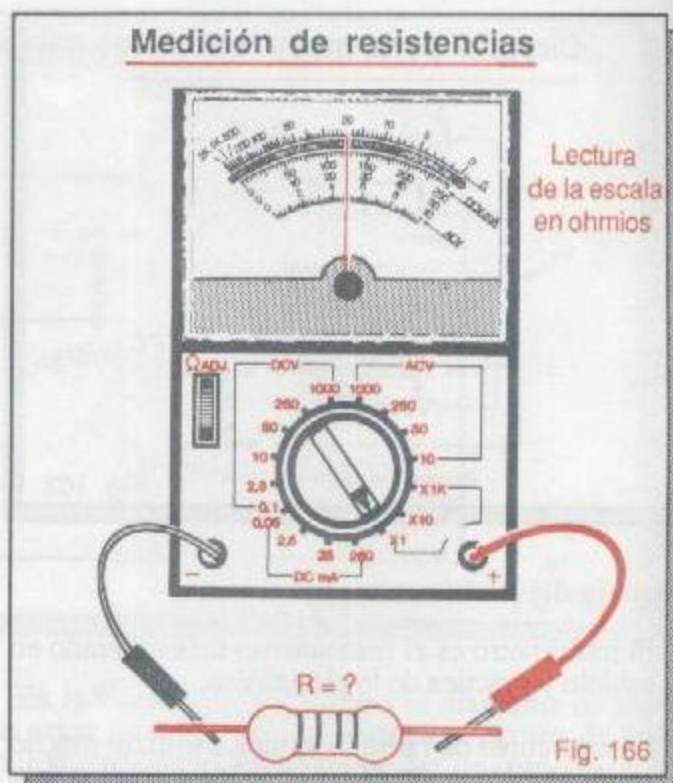
Busque esta perilla de ajuste de cero que se puede encontrar en diferentes sitios del multímetro, según sea el modelo.

En algunos casos, está al lado derecho o izquierdo por uno de los bordes, o en otros está al frente del instrumento en la parte superior a la perilla selectora de rango y función.

Una vez que se hayan ajustado los 0 ohmios, conectamos firmemente las dos puntas de prueba del multímetro a los terminales de la resistencia por medir y leemos su valor en la escala, (figura 166).

Cuando vamos a medir una resistencia que está conectada en un circuito debemos estar seguros de que el aparato no tenga alimentación de voltaje.

Si la resistencia que vamos a medir está conectada, lo más recomendable es desconectar uno de



sus terminales del circuito con el fin de que los demás componentes no alteren el valor de la medida, figura 167.

Una precaución muy importante que debemos tener siempre en cuenta es la de no medir voltajes cuando el multímetro está en la escala de ohmios, pues el instrumento seguramente se quemará.

Este es uno de los daños más frecuentes que ocurren en estos aparatos y debemos fijarnos bien, al realizar una medida de voltaje, que la perilla selectora esté en la posición correcta.

Para familiarizarse con este proceso de medida, ensaye con las resistencias de su radio de práctica.

Haga una tabla anotando su valor teórico indicado por el código de colores, y al frente de cada una anote el valor real medido con el multímetro. Notará que hay algunas diferencias correspondientes a la tolerancia propia de cada una de ellas.

### Medida de voltaje en corriente continua

Una de las funciones que más se utilizan con el multímetro es la de medir voltajes en CC ya que los circuitos electrónicos trabajan todos internamente con este tipo de corriente.

Para medir voltaje, debemos colocar la perilla selectora en un rango mayor al valor que vamos a medir. Por ejemplo, si vamos a medir un voltaje de



### Medición de una resistencia conectada a un circuito

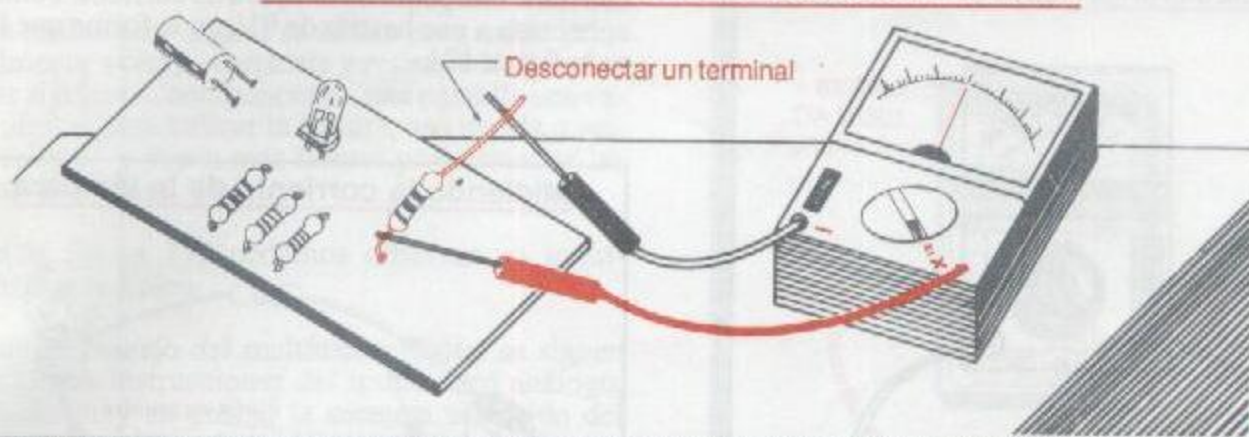


Fig. 167

9 voltios, la perilla selectora debe estar en la posición de 10 voltios CC.

Si no conocemos el voltaje, debemos empezar por la escala más alta e ir moviendo la perilla hacia un rango más bajo, hasta lograr una medida adecuada. La precisión de un multímetro analógico es mayor cuando la aguja está más cerca del extremo derecho de la escala.

Cuando se mide voltaje de CC, debemos tener en cuenta la polaridad en el circuito. La punta de prueba negativa (negra) del multímetro se conecta al terminal negativo del circuito, que generalmente se llama *tierra*. La punta de prueba positiva (roja) se debe conectar al circuito en su punta positiva, así como se muestra en la figura 168.

### Medición de voltaje en CC

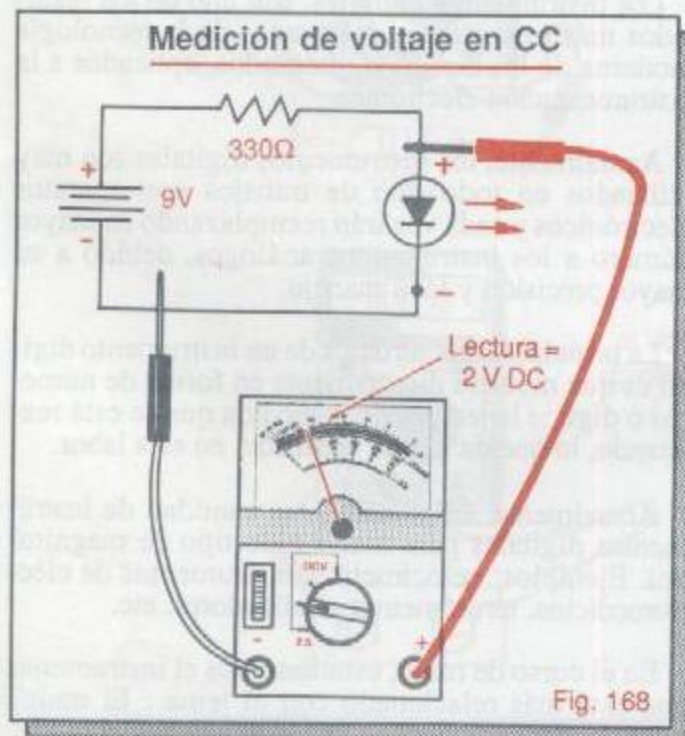


Fig. 168

Si en algún momento estamos midiendo un voltaje de CC y la aguja se desplaza rápidamente hacia la izquierda fuera de la escala, debemos invertir la posición de las puntas de prueba.

### Medida de voltaje en corriente alterna

Para medir voltaje de CA como el de los tomacorrientes donde conectamos los aparatos eléctricos y electrónicos debemos colocar la perilla selectora en la posición para corriente alterna y en la escala correcta de acuerdo a su valor.

Por ejemplo, para medir los 110V que debe haber aproximadamente en un tomacorriente, colocamos la perilla en la escala de 250 voltios de CA.

*Si conectamos el multímetro en una escala menor o en la función de ohmios o de corriente en miliamperios, éste probablemente se quemará y quedará inservible ya que su reparación es difícil debido a que en los multímetros se utilizan resistencias de precisión que no son fáciles de conseguir en el mercado corriente de los componentes electrónicos.*

Para la medida de voltajes de CA, no interesa la posición o polaridad de las puntas de prueba cuando se conectan al circuito. (figura 169).

### Medida de corriente en CC

Como un aparato electrónico está formado por varios circuitos y éstos a su vez por varios componentes, podemos medir la corriente que circula internamente en el aparato y sus circuitos con el fin de determinar si está funcionando bien.

Para medir corriente, primero debemos seleccionar la escala correcta con la perilla selectora, y luego conectar el multímetro *en serie* con el circuito o componente por medir. (figura 170).



### Medición de voltaje en CA

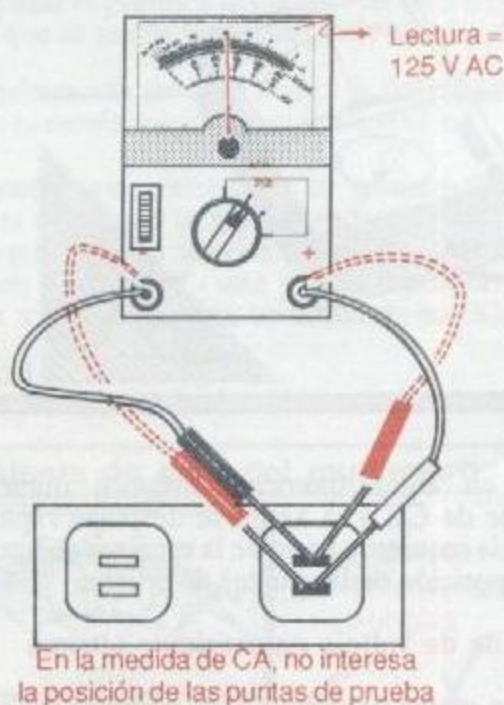


Fig. 169

Si la aguja se desplaza hacia la izquierda, debemos invertir la posición de las puntas de prueba.

### Medición de corriente en CC

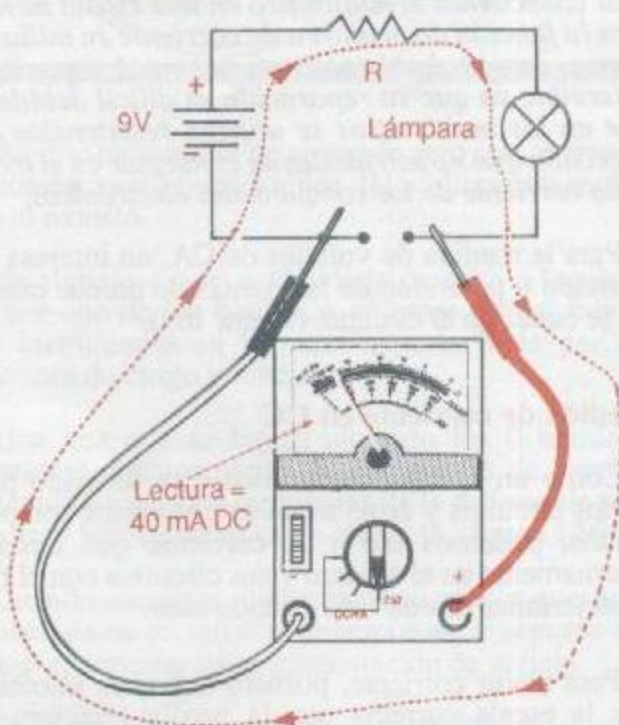


Fig. 170

Como práctica, podemos medir la corriente que consume una pequeña lámpara de corriente continua conectada a una batería de 9V, en la forma que indica la figura 171.

### Midiendo la corriente de la lámpara



Fig. 171

Más adelante, iremos explicando detalladamente la aplicación del multímetro para medir el comportamiento de los diferentes circuitos y componentes del radio de práctica.

### Instrumentos digitales

Los instrumentos digitales, son uno de los resultados más importantes del avance de la tecnología moderna de los circuitos integrados, aplicados a la instrumentación electrónica.

Actualmente, los instrumentos digitales son muy utilizados en todo tipo de trabajos con aparatos electrónicos y cada vez irán reemplazando en mayor número a los instrumentos analógicos, debido a su mayor precisión y fácil manejo.

La principal característica de un instrumento digital es que muestra directamente en forma de números o dígitos la lectura de la medida que se está realizando, lo que da mayor precisión en esta labor.

Actualmente, existe una gran cantidad de instrumentos digitales para medir todo tipo de magnitudes. Ejemplos: velocímetros, instrumentos de electromedicina, termómetros, analizadores, etc.

En el curso de radio, estudiaremos el instrumento que está más relacionado con el tema: El multímetro digital.



## El multímetro digital

Un multímetro digital se utiliza para medir principalmente voltaje, corriente y resistencia. Este tiene los siguientes componentes: una pantalla con varios dígitos para indicar la lectura, una perilla o switch selector y dos o más bornes para conectar las puntas de prueba.

En la figura 172 podemos observar un multímetro digital típico.

Para el manejo del multímetro digital se siguen las mismas instrucciones del multímetro análogo, teniendo muy en cuenta la correcta selección del rango y función adecuados según el parámetro por medir, ya sea resistencia, voltaje o corriente.

En esto debemos tener un gran cuidado ya que los multímetros digitales son mucho más delicados, pues en su circuito interior tienen circuitos integrados y otros componentes muy sensibles.

Si usted posee un multímetro digital, practique cada uno de los tipos de medida que mencionamos

## Multímetro digital



Fig. 172

en el multímetro análogo: resistencia, voltaje de CC y CA y corriente de CC.

Fíjese muy bien en la correcta selección de la escala para que no se vaya a quemar. En la figura 173 podemos observar cómo se ubica la perilla selector para cada uno de estos casos.

## Medidas electrónicas con el multímetro digital



a) Resistencia



b) Voltaje de corriente continua



c) Voltaje en corriente alterna



d) Corriente en C.C.

Fig. 173



## Actividad práctica Nº 7

En esta actividad vamos a instalar en el tablero del radio los diodos D2 y D3 en el circuito amplificador de audio, o sea, la etapa marcada con el color azul en su lámina del diagrama del radio.

Recuerde las instrucciones para soldar correctamente, entregadas en las prácticas anteriores.

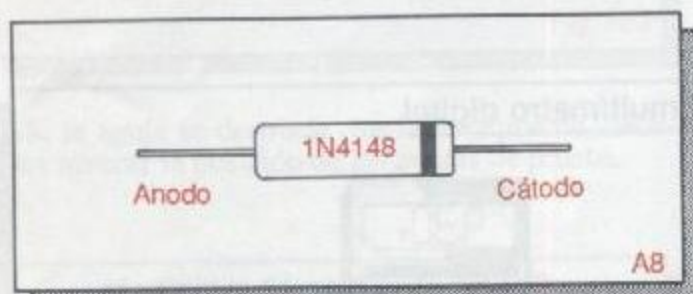
### Componentes necesarios

2 Diodos de señal 1N4148.

Los diodos, como se estudiará en la próxima lección, son unos componentes que dejan pasar la corriente en una sola dirección.

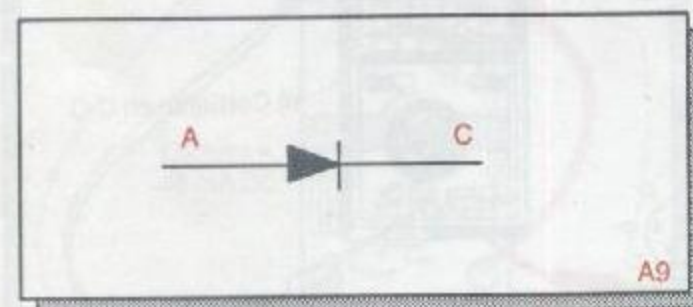
### Paso 1: Identificación de los diodos.

Físicamente, el diodo 1N4148 tiene la siguiente forma:



Los diodos tienen polaridad, es decir, cada terminal debe ir conectado a un sitio exacto en el circuito, pues de lo contrario no funcionará el radio.

El símbolo del diodo es el siguiente: La letra A indica un terminal llamado ánodo y la letra C es el terminal llamado cátodo.



La rayita negra en el cuerpo del diodo corresponde al cátodo.

**Paso 2:** Una vez identificado cada diodo y sus terminales, debe proceder a soldarlos en las puntillas correspondientes.

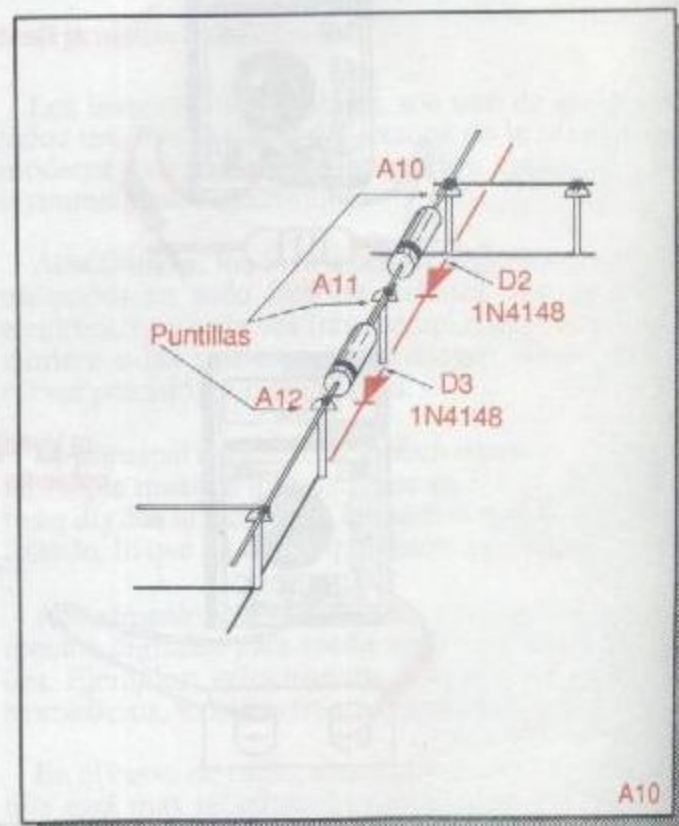
Instale y suelde uno de los diodos entre las puntillas A10 y A11. Este será el diodo D2. El cátodo del diodo, o sea el terminal más cercano a la rayita negra, debe quedar en la puntilla A11.

**Paso 3:** Instale y suelde el otro diodo, D3, entre las puntillas A11 y A12. El cátodo de este diodo debe ir conectado a la puntilla A12.

**Precaución:** Los diodos son unos componentes mucho más delicados que las resistencias y los condensadores, en cuanto a que se pueden dañar fácilmente si les aplicamos mucha temperatura al soldarlos.

Utilice para esta actividad un cautín pequeño, máximo de 25 W, y suelde rápidamente los terminales de los diodos. Para una mayor facilidad en el proceso de soldadura, las puntillas deben estar estañadas, es decir, deben tener un poco de soldadura en su superficie.

Al terminar esta actividad, los diodos deben quedar conectados de la siguiente manera:





## Instrumentos para el ajuste y reparación de los aparatos de radio

Existen, además del multímetro, otros instrumentos electrónicos que se utilizan para el ajuste y la reparación de los aparatos de radio y comunicaciones en general.

Estos instrumentos permiten simular y visualizar, en una mesa de trabajo, las señales que se encuentran en estos aparatos.

Los principales instrumentos de este tipo y que vamos a conocer en este curso son: El generador de audio, el inyector de señales, el generador de radiofrecuencia, el seguidor o rastreador de señales y el osciloscopio.

### El generador de audiofrecuencia

El generador de audiofrecuencia es un instrumento que genera o produce una señal de audio, es decir, que tiene una frecuencia audible, comprendida mas o menos entre 10 Hz y 30.000 Hz o 30 KHz.

Los generadores de audio se fabrican en muchos modelos pero todos tienen características comunes. Producen una señal con forma de onda seno y cuadrada como mínimo. Algunos modelos también generan señales del tipo triangular y pulsos.

En la figura 174 podemos observar dos tipos de generadores de audio, llamados también generadores de baja frecuencia.

Los generadores de audio se utilizan para aplicar una señal a un circuito amplificador con el fin de medir y observar su funcionamiento.

Este aparato debe tener, como mínimo, controles para variar la frecuencia en Hertz de la señal, para seleccionar la forma de onda y para regular su amplitud.

En la comunicación por radio, sabemos que una señal de audio o sonido, viaja en compañía de la señal de radiofrecuencia desde la antena del transmisor hasta la antena del receptor.

Internamente, en el aparato de radio, la señal de audio se separa, se amplifica y va al parlante.

El circuito que amplifica esta señal de un radio se llama el amplificador de audio.

### Generadores de audio



Fig. 174

En una próxima lección estudiaremos cómo se mide el nivel de amplificación de una etapa amplificadora de audio y cómo se observa la distorsión, utilizando el generador de audio en compañía de otro instrumento muy útil en electrónica, el osciloscopio.

### El inyector de señales

Los generadores de audio son muy importantes para el trabajo en electrónica pero pueden ser costosos para el aficionado o estudiante.

Se pueden fabricar generadores de audio sencillos, con materiales comunes para ser utilizados en trabajos de fabricación y reparación de aparatos de radio en forma experimental.

Uno de los más sencillos, pero más eficientes instrumentos es el llamado *inyector de señales*.

Este es un circuito formado por pocos componentes (2 transistores, 4 resistencias y 3 condensadores).



dores) que se puede construir en un circuito impreso (kit CEKIT ref. K13) y alojar en una pequeña caja metálica o de plástico, alimentado por una pila o batería.

Este circuito produce una señal de onda cuadrada con una frecuencia aproximada de 1000 Hz en el rango audible.

Como su nombre lo indica, el inyector de señales *inyecta* su señal al circuito que deseemos por medio de una punta de prueba y en la salida del circuito debe aparecer la señal esperada.

Más adelante, como práctica, aprenderemos a construir y utilizar un inyector de señales para las pruebas de los diferentes circuitos del radio CEKIT.

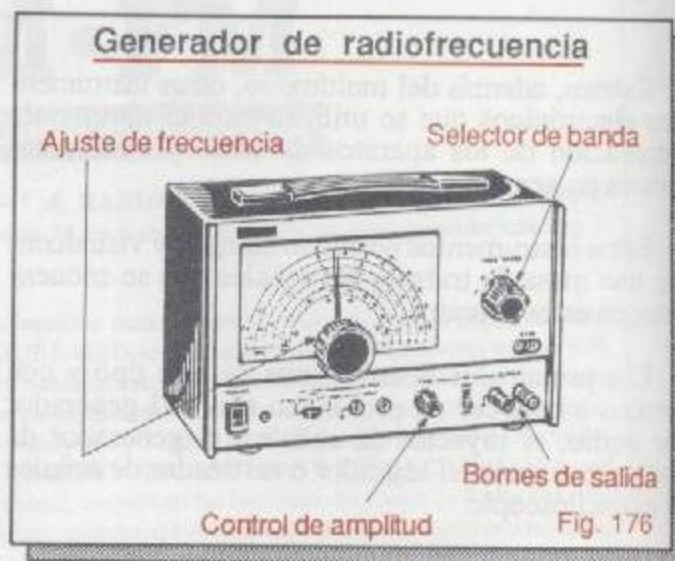
### El generador de radiofrecuencia

El generador de radiofrecuencia o RF, es otro instrumento muy importante en la práctica de ajuste y reparación de los aparatos de radio y comunicaciones.

Este aparato entrega una señal de alta frecuencia y su salida es variable, tanto en amplitud como en frecuencia.

De tal manera, podemos simular una señal u onda de radio y aplicarla a los diferentes circuitos de los aparatos, con el fin de determinar y lograr su correcto funcionamiento, (figura 175).

Estos instrumentos también se fabrican en muchos modelos y calidades. En la figura 176 se muestra un generador de RF típico.



Los principales controles de un generador de RF son: El selector de banda, que selecciona una banda o rango de frecuencias para la señal de salida, la perilla selectora de frecuencia dentro de la banda seleccionada y un control de amplitud que determina el tamaño de la señal que se va a aplicar al circuito.

Además de los controles, tiene dos bornes de salida y dos bornes para introducir la señal de un generador de audio y modular la señal de RF.

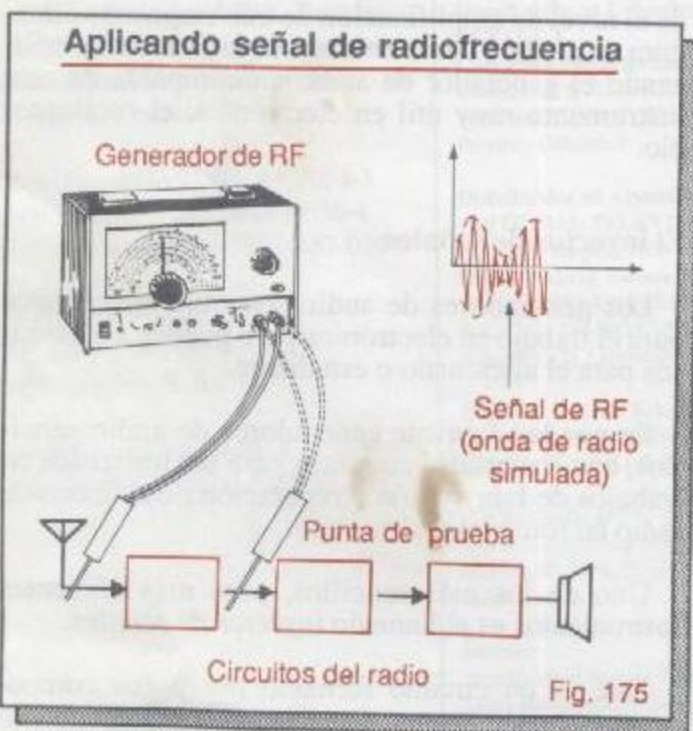
Veremos la aplicación práctica de este instrumento, en las lecciones correspondientes al ajuste y calibración de las etapas de radiofrecuencia, una vez las hayamos ensamblado en el radio CEKIT.

### El seguidor o rastreador de señales

Este instrumento, también llamado analizador dinámico o *Signal Tracer*, en inglés, permite tomar la señal de audio presente en las diferentes etapas del radio lo que facilita la tarea de reparación de estos aparatos.

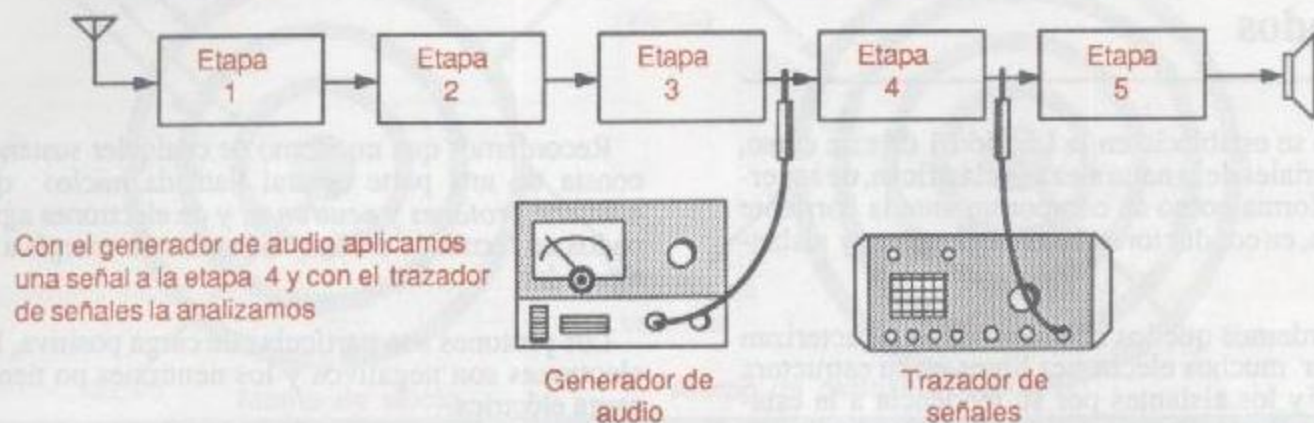
Básicamente, consiste en un amplificador de audio de poca potencia, un parlante, y una etapa detectora incorporada en una punta de prueba.

Trabajando simultáneamente con un generador de audio o con un inyector de señales, introduciendo su señal en la entrada de una etapa del radio y luego tomando la señal en la salida de esa misma etapa, con la punta de prueba, podemos verificar el buen funcionamiento de cada una de ellas.





## Análisis de un radio con generador de audio y trazador de señales



De esta manera, si un radio tiene 5 o 6 etapas, las podemos probar individualmente, encontrando fácilmente la falla en cualquiera de ellas.

En la figura 177 podemos observar la forma general de utilización de este instrumento.

### **El osciloscopio**

El osciloscopio es uno de los instrumentos más importantes en el trabajo con aparatos de radio y comunicaciones y en toda la electrónica en general.

Por medio del osciloscopio podemos visualizar en una pantalla, la forma de onda, la amplitud y la frecuencia de una señal de corriente alterna. Esto hace que este instrumento nos suministre más información que cualquier otro.

También podemos medir con él, voltaje y corriente en corriente continua.

El osciloscopio utiliza una pantalla similar en su principio de funcionamiento, a la de un televisor.

Por medio de circuitos amplificadores y manejadores de rayos de electrones, las señales se pueden presentar en forma visible.

Para el técnico, el aficionado o el ingeniero, esto es muy importante pues permite tener una imagen real de las señales y voltajes dentro de un aparato.

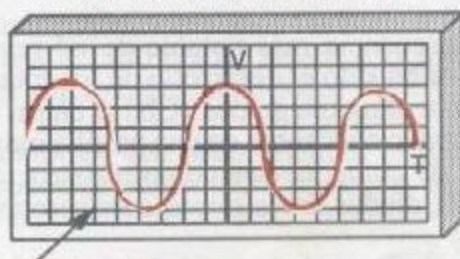
Existen muchos tipos de osciloscopios dependiendo de sus características y calidad.

En la figura 178 podemos observar un osciloscopio común de los que se utilizan para los trabajos de ajuste y reparación en los aparatos de radio.

### El osciloscopio



#### **Pantalla del osciloscopio**



Visualización de la señal

Fig. 178

En próximas lecciones aprenderemos a utilizar el osciloscopio para la calibración o ajuste y análisis de las diferentes etapas del radio de prácticas de este curso.

Con el generador de audio y el osciloscopio, podemos probar el buen funcionamiento de una etapa en cuanto a su nivel de amplificación y a la distorsión que se produce a la señal original.

El generador de audio se conecta a la entrada del circuito que se va a probar y luego observamos en su salida, la forma y amplitud de la señal que se obtiene.



# Teoría de Semiconductores y Diodos

Como se estableció en la Lección 1 de este curso, los materiales de la naturaleza se clasifican, de acuerdo a la forma como se comportan ante la corriente eléctrica, en conductores, semiconductores y aislantes.

Recordemos que los conductores se caracterizan por tener muchos electrones libres en su estructura atómica y los aislantes por su tendencia a la estabilidad química. Estas condiciones favorecen la circulación de corriente en el primer caso y la impiden en el otro.

En esta lección, vamos a estudiar los materiales semiconductores y una de sus aplicaciones más importantes: el diodo. Como se había mencionado, los semiconductores son sustancias como el silicio y el germanio, que presentan propiedades intermedias entre los conductores y los aislantes.

Los semiconductores han revolucionado la electrónica moderna en todos sus campos y han abierto un mundo sin fronteras a sus posibilidades de aplicación. La radio no ha sido ajena a su influencia. El moderno receptor superheterodino, la televisión a color y las videograbadoras, son apenas algunos ejemplos de este desarrollo.

La consecuencia más notable de tal revolución tecnológica ha sido el desarrollo de los transistores y de los circuitos integrados (CIs) o *chips*. Un circuito integrado concentra, en una pastilla muy delgada, miles de componentes como resistencias, condensadores, diodos, transistores, conductores, etc.

El conocimiento de la teoría básica de los semiconductores y del diodo, es indispensable para comprender cómo trabajan no solamente los transistores y los circuitos integrados sino también los FETs, los SCRs, los LEDs y otros dispositivos de la llamada *generación del silicio*.

## Repaso de la teoría atómica

Como sabemos, los materiales están formados por elementos y los elementos por átomos. El átomo es la parte más pequeña e indivisible de la materia, que conserva las propiedades originales de un material.

Si dividimos el átomo, encontramos las partículas básicas.

Recordemos que un átomo de cualquier sustancia consta de una parte central llamada *núcleo* que contiene *protones* y *neutrones*, y de electrones agrupados en forma de *órbitas* o bandas de energía a su alrededor.

Los protones son partículas de carga positiva, los electrones son negativos y los neutrones no tienen carga eléctrica.

El número de protones en el núcleo es igual al número de electrones distribuidos en las órbitas. Esto determina el *número atómico* de un material. Un átomo de cobre, por ejemplo, difiere de uno de hierro en su número atómico. *El número atómico es el que establece la diferencia entre un elemento y otro.*

Los electrones están distribuidos en las órbitas, obedeciendo a ciertas leyes físicas y de acuerdo a su cantidad. Los electrones de la órbita más externa reciben el nombre de *electrones de valencia* o electrones libres y son muy importantes para la electrónica. El máximo número posible de electrones en la banda de valencia es 8.

El paso de una corriente eléctrica a través de un material depende de la movilidad de sus electrones de valencia. Entre más alejados estén estos electrones del núcleo, más fácil es producir en ese material una corriente eléctrica.

Además, el número de electrones de valencia determina el *grupo* al que pertenece un elemento en la tabla periódica. Un grupo en la tabla periódica asocia una serie de elementos con características y propiedades químicas afines (alcalinos, metales, gases, etc).

Los elementos del grupo 4, por ejemplo, tienen 4 electrones en su última capa. A este grupo pertenecen, entre otros, el carbono, el silicio y el germanio. De estos dos últimos, llamados los *semiconductores*, nos ocuparemos ahora.

## Estructura atómica de los semiconductores

En la figura 179 se muestra la estructura atómica de un átomo de silicio y uno de germanio. El de silicio posee 14 electrones distribuidos en 3 órbitas y el de germanio 32, repartidos en 4 órbitas.



## Estructura atómica de los semiconductores

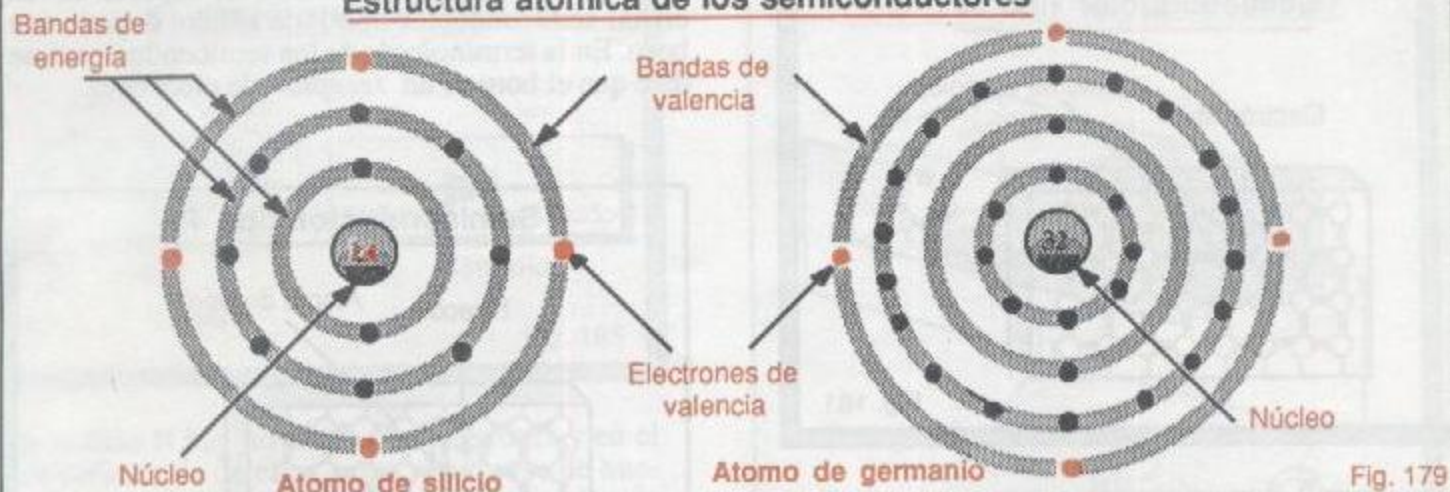


Fig. 179

Ambos átomos comparten en común el hecho de tener cada uno 4 electrones de valencia.

Por ahora, sólo nos interesan el núcleo y los electrones de valencia. En un semiconductor puro, los átomos están perfectamente alineados, formando lo que se denomina una red cristalina o *cristal*. En la figura 180 se muestra el aspecto parcial de un cristal de silicio.

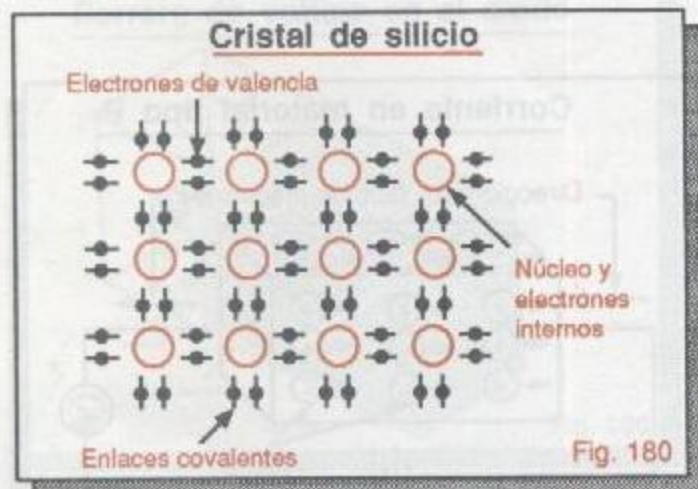


Fig. 180

En un cristal de silicio, cada átomo comparte sus 4 electrones de valencia con los átomos vecinos mediante *enlaces covalentes*. Estos enlaces son tan fuertes que es prácticamente imposible arrancar un electrón de valencia de su sitio, excepto con la aplicación de muy alta energía.

Por esta razón, un cristal semiconductor puro no favorece la circulación de corriente. Desde el punto de vista eléctrico, se comporta como un simple aislante, sin mayor utilidad práctica. Para que se convierta en conductor debe *doparse*, agregándole pequeñas cantidades de impurezas.

Las impurezas son átomos de otro material como el arsénico y el boro que, mediante el proceso de dopado, convierten un cristal semiconductor puro en un conductor, sin afectar su estructura.

De acuerdo al tipo de impureza inyectada, surgen dos tipos de semiconductores: el material tipo N y el material tipo P.

De ellos nos ocuparemos enseguida. La unión de un material tipo N con un material tipo P constituye un diodo, como veremos más adelante.

### Semiconductores tipo N

Los semiconductores tipo N se obtienen inyectando átomos de antimonio, arsénico o fósforo a un cristal de silicio o germanio puro.

Estos átomos son pentavalentes, es decir, tienen 5 electrones de valencia. Su presencia en el cristal crea un exceso de electrones.

Al enlazarse un átomo de arsénico con uno de silicio, por ejemplo, queda sobrando un electrón en la estructura cristalina.

Este electrón, al no estar ligado a ningún átomo, es libre de moverse a través del cristal y, por lo tanto, es un portador potencial de corriente.

En la figura 181 se muestra el aspecto de un cristal semiconductor tipo N de silicio, dopado con arsénico.

En la terminología de los semiconductores, se dice que el arsénico es un *dador*.

Los *portadores* de corriente en un material tipo N son los *electrones*.



### Semiconductor tipo N

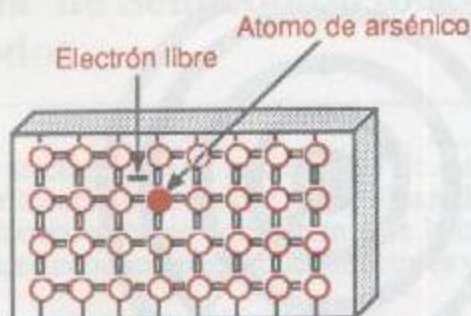


Fig. 181

Si se aplica un voltaje a través de un material tipo N, como se muestra en la figura 182, el resultado es un flujo de corriente a través del cristal. Los electrones libres son repelidos por el polo negativo de la batería y atraídos por el polo positivo de la misma.

### Corriente en material tipo N

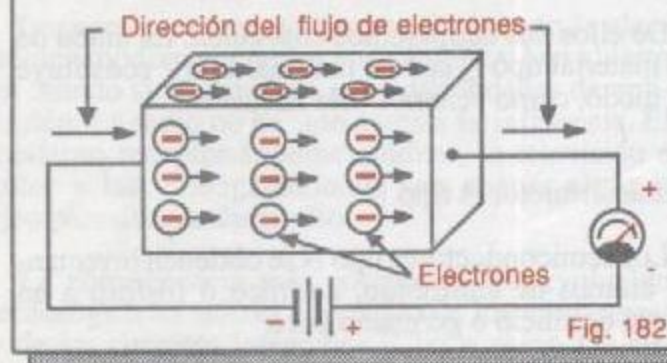


Fig. 182

Recuerde: los portadores de corriente en un material tipo N son los electrones libres, los cuales tienen carga negativa.

### Semiconductores tipo P

Los semiconductores tipo P se obtienen inyectando átomos de boro, galio o indio a un cristal de silicio o germanio puro.

Estos átomos son trivalentes, es decir, tienen 3 electrones de valencia. Su presencia en el cristal crea una deficiencia de electrones.

Al enlazarse un átomo de boro con uno de silicio, por ejemplo, queda faltando un electrón en la estructura cristalina. A ese espacio libre se le denomina *huevo*. Los huecos se comportan como cargas positivas porque atraen electrones y, por lo tanto, son portadores potenciales de corriente.

En la figura 183 se muestra el aspecto de un cristal semiconductor tipo P de silicio, dopado con boro. En la terminología de los semiconductores, se dice que el boro es un *receptor* de electrones.

### Semiconductor tipo P

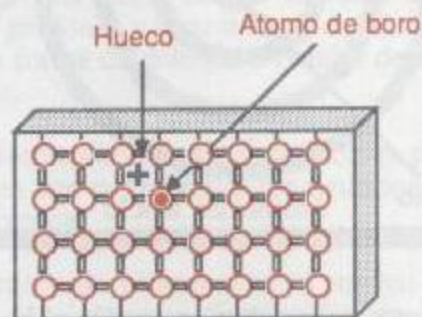


Fig. 183

Si se aplica un voltaje a través de un material tipo P, como se muestra en la figura 184, el resultado es un flujo de corriente a través del cristal. Los huecos son repelidos por el polo positivo de la batería y atraídos por el polo negativo. Esto equivale a una circulación de electrones en dirección contraria a la dirección del material tipo N.

### Corriente en material tipo P

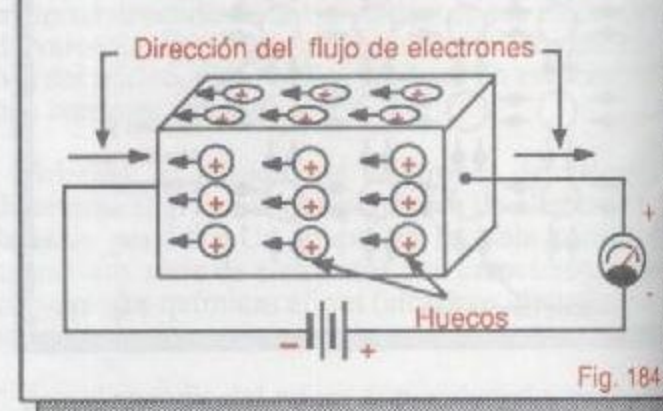


Fig. 184

Recuerde: los portadores de corriente en un material tipo P son los huecos, los cuales se comportan como cargas positivas libres.

### El Diodo Semiconductor

Un diodo es esencialmente la unión de un material tipo N con un material tipo P, como se muestra en la figura 185. El lado N recibe el nombre de *cátodo* y el lado P el de *ánodo*.



## El diodo o unión PN

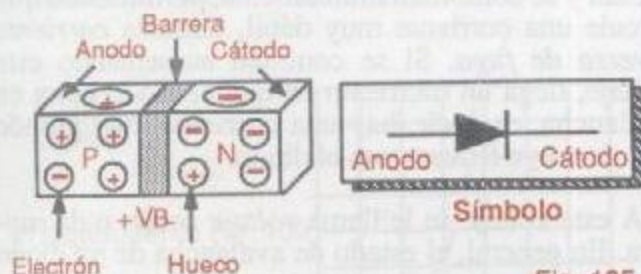


Fig. 185

En el lado N hay un exceso de electrones y en el P una deficiencia de ellos, o sea, un exceso de huecos. Además de estos *portadores mayoritarios* de corriente, en los lados N y P existen unos pocos *portadores minoritarios*, representados por algunos huecos en N y algunos electrones libres en P.

Los electrones del lado N tienden a pasar hacia el lado P, atraídos por los huecos o viceversa. Sin embargo, no pueden hacerlo porque en la unión o juntura de los dos materiales se forma una barrera eléctrica de voltaje que impide el paso de los portadores mayoritarios de corriente. (Figura 186).

## Barrera de voltaje en el diodo

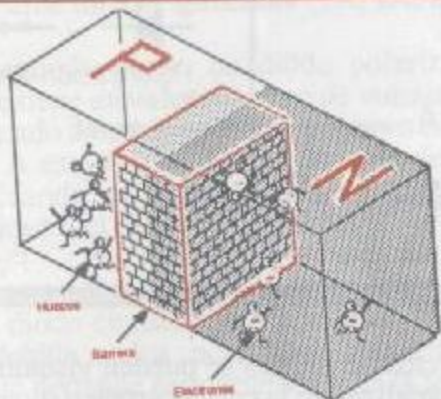


Fig. 186

A esta barrera de potencial la llamaremos unión o juntura PN y presenta propiedades muy interesantes para la corriente eléctrica.

## Polarización directa de un diodo

Para que circulen los portadores mayoritarios de corriente de un lado a otro y pueda establecerse un flujo de corriente a través de la unión PN, la barrera de potencial debe ser eliminada.

La forma de conseguirlo es aplicando un voltaje externo de polarización, como se muestra en la figura 187.

## Polarización directa del diodo

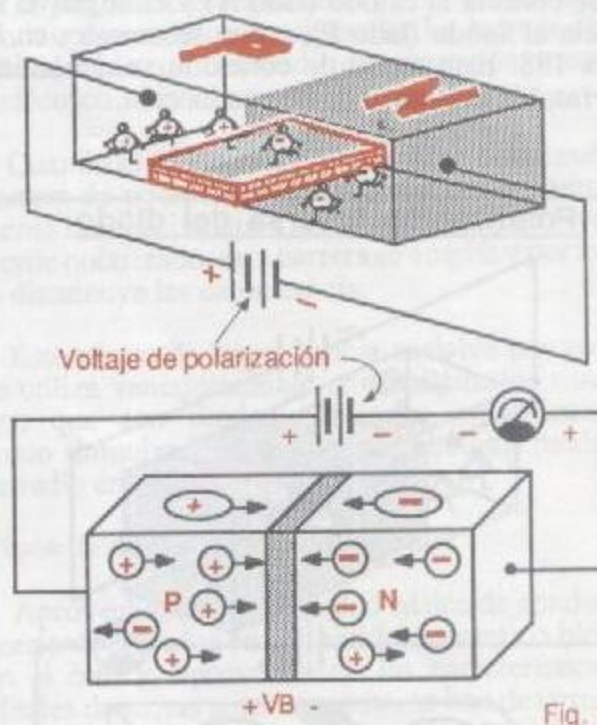


Fig. 187

En este modo de conexión, llamado *polarización directa*, el positivo de la fuente se conecta al electrodo del lado P o *ánodo* y el negativo al del lado N o *cátodo*. Conectado de este modo, el diodo conduce la corriente eléctrica. Por qué? Veámoslo:

En un diodo polarizado directamente, los electrones libres del material N son rechazados por el terminal negativo de la batería y emigran en dirección de la juntura.

Lo mismo sucede con los huecos del material P respecto al terminal positivo de la batería.

Como consecuencia de lo anterior, en la juntura PN se presenta una fuerte concentración de portadores de corriente.

Bajo la influencia del voltaje de la batería, los electrones y huecos atraviesan la barrera y se combinan mutuamente.

Por cada combinación de un electrón y un hueco, penetra un electrón por el terminal negativo y sale otro por el terminal positivo.

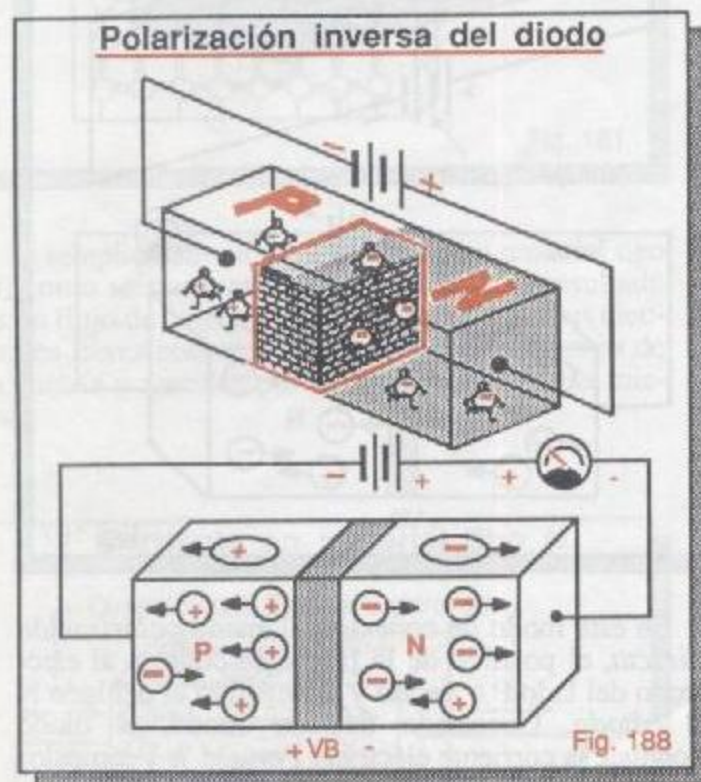
De este modo, fluye continuamente una corriente eléctrica a través del circuito externo.

Podemos decir, entonces, que un diodo polarizado directamente actúa como un conductor, porque ofrece muy poca resistencia al paso de la corriente.



## Polarización inversa de un diodo

Supongamos ahora que el terminal positivo de la pila se conecta al cátodo (lado N) y el negativo se conecta al ánodo (lado P), como se muestra en la figura 188. Este modo de conexión se denomina *polarización inversa* o de no conducción.



En un diodo polarizado inversamente, los electrones libres del material N son atraídos por el terminal positivo, alejándolos de la juntura. Lo mismo sucede con los huecos de P respecto al terminal negativo.

Como consecuencia de lo anterior, en la juntura PN se presenta una drástica ausencia de portadores de corriente.

Bajo la influencia del voltaje de la batería, los electrones y huecos no pueden atravesar la barrera y, por lo tanto, no hay circulación de corriente a través del diodo.

Podemos decir, entonces, que un diodo polarizado inversamente actúa como un aislante, porque ofrece muy alta resistencia al paso de la corriente.

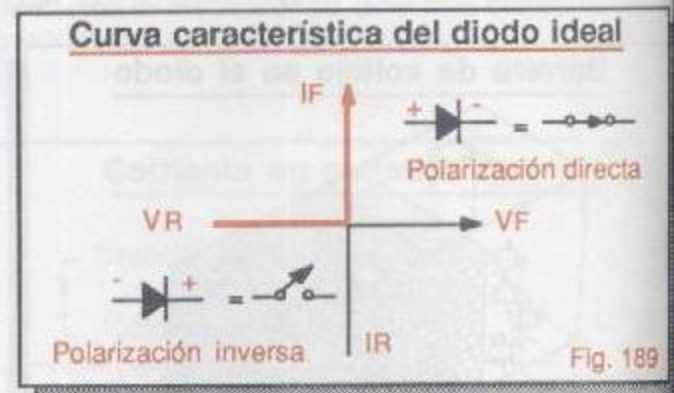
Recordemos que, además de portadores mayoritarios de corriente (electrones en N y huecos en P), en un diodo existen también unos pocos portadores minoritarios (huecos en N y electrones en P). Veamos los efectos de la presencia de estos portadores minoritarios en el cristal.

Bajo la influencia del voltaje inverso, los portadores minoritarios se concentran en la juntura, la atraviesan y se combinan mutuamente, permitiendo que circule una corriente muy débil, llamada *corriente inversa de fuga*. Si se continúa aumentando este voltaje, llega un momento en que el diodo entra en *avalancha*, es decir, hay una corriente muy grande que destruye físicamente el diodo.

A este voltaje se le llama *voltaje zener* o de ruptura. En general, el estado de *avalancha* de un diodo se caracteriza por un aumento repentino y considerable de la corriente inversa. Si esta corriente no se limita, se rompe la estructura cristalina y el diodo se destruye. En las características de fabricación de cada tipo de diodo se especifica cuál es el voltaje inverso máximo que soporta ese diodo sin dañarse.

## Características de los diodos reales

Idealmente, un diodo debería comportarse como un interruptor perfecto, actuando como un cortocircuito en polarización directa y como un circuito abierto en polarización inversa (figura 189). Los diodos reales, sin embargo, exhiben ciertas características no acordes con esta idealización.



Estos efectos no ideales se pueden visualizar más fácilmente analizando la curva característica real de un diodo, mostrada en la figura 190. Esta curva muestra la forma como se comportan la corriente y el voltaje a través de este componente.

En primer lugar, un diodo polarizado directamente necesita de un valor mínimo de voltaje para empezar a conducir. Este voltaje se designa como  $V_F$  y es igual al potencial de barrera de la juntura PN. Los valores típicos de  $V_F$  son 0.3 V para diodos de germanio y 0.6 a 0.7 V para diodos de silicio.

Esta caída directa de voltaje aparece siempre entre los terminales del diodo durante su operación normal, independientemente del voltaje externo aplicado.



## Curva característica del diodo real

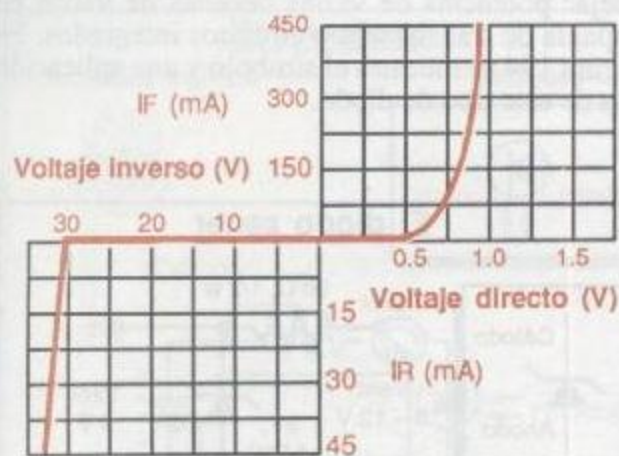


Fig. 190

Como consecuencia de la caída, al circular una corriente a través del dispositivo, éste disipa potencia en forma de calor.

Si tal disipación de potencia es excesiva, el diodo puede destruirse por sobrecalentamiento. Por esta razón, los fabricantes especifican siempre la máxima corriente directa admisible (1A, 2A, etc.).

En segundo lugar, un diodo polarizado inversamente tiene un valor máximo de voltaje que puede ser aplicado antes de que el dispositivo entre en avalancha. A este voltaje de ruptura se le designa  $V_R$  o PIV. Cuando el voltaje aplicado supera el PIV especificado, el diodo se destruye.

Mientras no se llegue al estado avalancha, a través del diodo circula una corriente de fuga,  $I_R$ , muy débil, debida a los portadores minoritarios. Esta corriente depende principalmente de la temperatura. En diodos de silicio,  $I_R$  es del orden de los nanoamperios y se duplica cada  $10^\circ\text{C}$ .

Cuando el diodo entra en avalancha, la corriente inversa crece súbitamente y puede ser fatal para el dispositivo. Si se continúa aumentando el voltaje inverso y se provee un medio de limitación de esta corriente, en los extremos del diodo aparece permanentemente un voltaje igual al de ruptura.

Los diodos comunes, por lo general, nunca se trabajan en la región de avalancha. Existen, sin embargo, diodos fabricados específicamente para este propósito. Son los llamados *diodos zener*, muy utilizados como reguladores de voltaje de corriente continua de baja potencia.

Otro fenómeno que se presenta en los diodos reales, y que no aparece explícito en la curva característica mostrada en la figura 190, es la capacitancia de la juntura. Las regiones N y P se comportan como las placas de un condensador. La barrera de potencial actúa como el medio de separación o material dieléctrico.

Cuando el diodo está directamente polarizado, la barrera de potencial se estrecha y por lo tanto aumenta la capacitancia. Cuando el diodo está inversamente polarizado, esta barrera se amplía y por lo tanto disminuye la capacitancia.

Este efecto de 'capacitancia variable por voltaje' se utiliza ventajosamente en los llamados *varactores*, que son diodos diseñados específicamente como sintonizadores en algunos circuitos modernos de radio en FM.

## Tipos de diodos y sus aplicaciones

Aprovechando la propiedad básica de conducir la corriente eléctrica en un sentido mientras la bloquea en el otro y, aprovechando las características no ideales descritas anteriormente, se han desarrollado varios tipos de diodos, cada uno destinado a una aplicación específica.

Los diodos que se describen a continuación son los más representativos. Se han omitido algunos, altamente especializados o en desarrollo, como el láser, el piezoeléctrico, el pin, etc. pero se incluyen otros, igualmente interesantes, como el diodo túnel, el varicap, el diodo Schottky, etc.

Los *diodos de señal* son pequeños diodos de germanio que se utilizan como detectores de R.F. en receptores de radio. Se caracterizan por requerir de muy bajo voltaje para conducir. En la figura 191 se muestra un circuito típico de aplicación como detector de señales en un receptor de radio muy sencillo, llamado *radio de galena* o receptor de cristal.

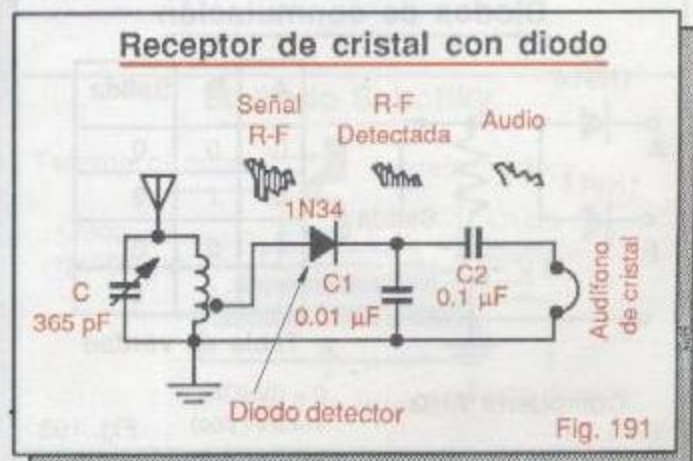


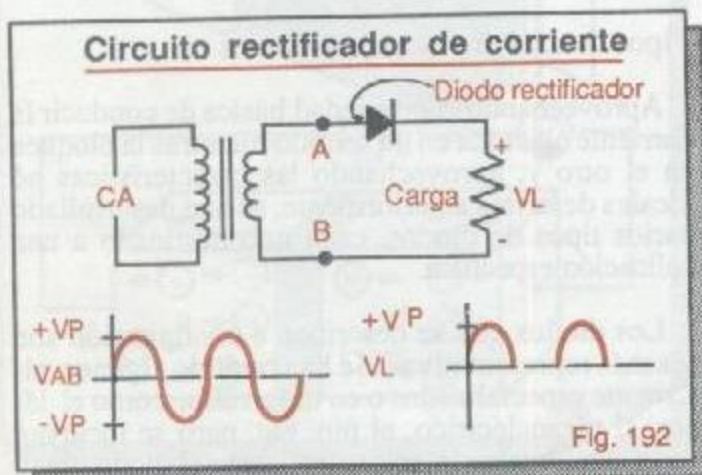
Fig. 191



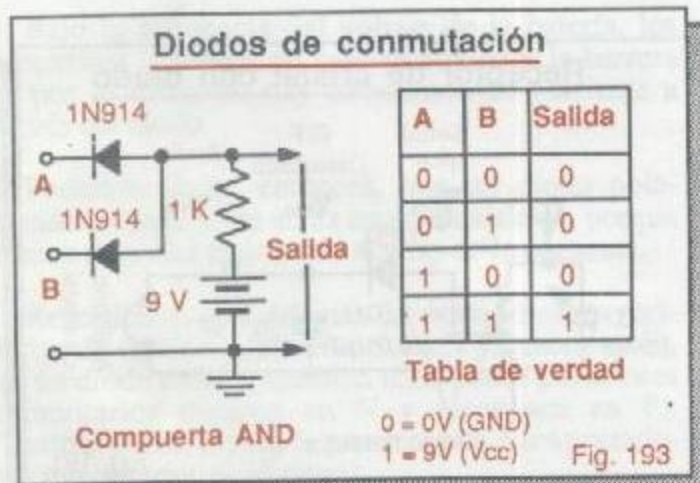
Los *diodos rectificadores de potencia* son diodos de silicio de mayor tamaño que los diodos de señal y con especificaciones más amplias de corriente y voltaje, diseñados para ser usados en fuentes de poder y otras aplicaciones de potencia.

Esta es una de las aplicaciones más comunes para los diodos: la conversión de corriente alterna en corriente continua, un proceso que se encuentra en casi todos los aparatos electrónicos.

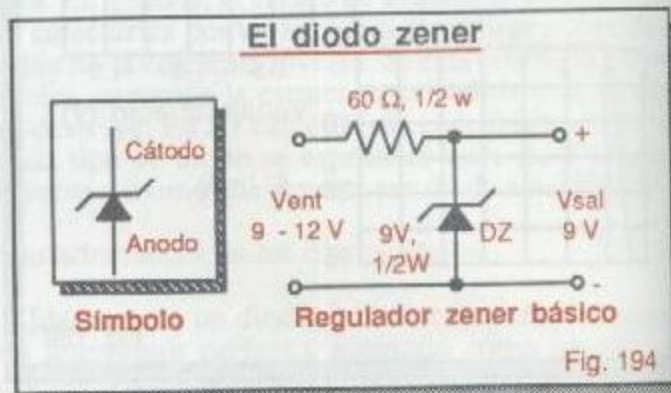
Los diodos rectificadores pueden manejar corrientes desde milésimas hasta cientos de amperios y pueden soportar tensiones inversas desde unos pocos hasta varios miles de voltios. En la figura 192 se muestra un circuito típico de aplicación de un rectificador de corriente.



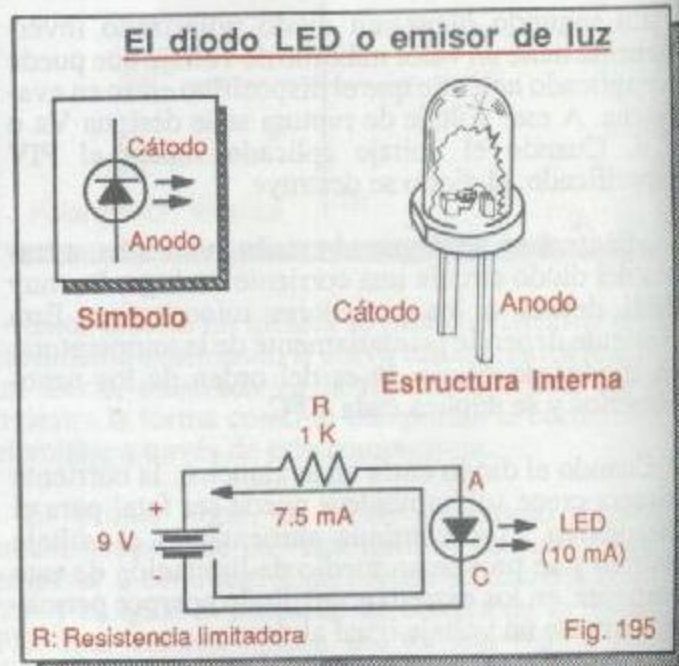
Los *diodos de conmutación* son también diodos de silicio, pero menos robustos que los diodos de potencia, diseñados para ser usados en circuitos digitales. Se caracterizan por su baja capacitancia de juntura, lo que los hace muy rápidos. En la figura 193 se muestra una aplicación típica.



Los *diodos Zener* son dispositivos diseñados específicamente para ser utilizados como estabilizadores de voltaje. Pueden suministrar tensiones de referencia fijas hasta de varios cientos de voltios y manejar potencias de varias decenas de vatios en compañía de transistores o circuitos integrados. En la figura 194 se muestra el símbolo y una aplicación típica de este tipo de diodo.



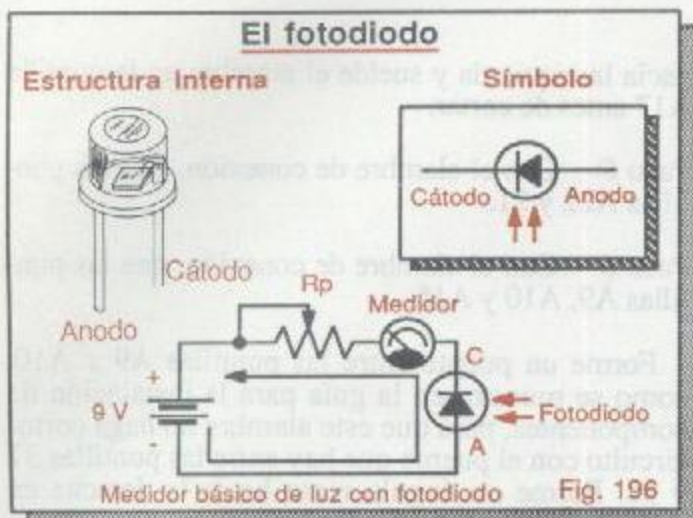
Los *diodos emisores de luz* o LEDs son diodos que emiten una luz visible o infrarroja cuando se polarizan directamente. Se emplean en transmisores ópticos y como visualizadores o pilotos en múltiples aplicaciones. En la figura 195 se muestra un circuito típico de utilización.



Los *fotodiodos* son diodos sensibles a la luz. Generan un voltaje de corriente continua proporcional a la cantidad de luz que incide sobre su superficie. Se utilizan como medidores y sensores de luz y en receptores ópticos de comunicaciones.



En la figura 196 se muestra un circuito típico de aplicación.



Los *diodos túnel* son dispositivos muy versátiles que pueden operar como detectores, amplificadores y osciladores.

Poseen una región de juntura extremadamente delgada y tienen *resistencia negativa*, esto es, la corriente disminuye a medida que aumenta el voltaje aplicado.

En un diodo túnel, los portadores de corriente atraviesan la juntura a la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$  m/seg). A los diodos túnel se les denomina también *diodos Esaki*, en honor de su inventor.

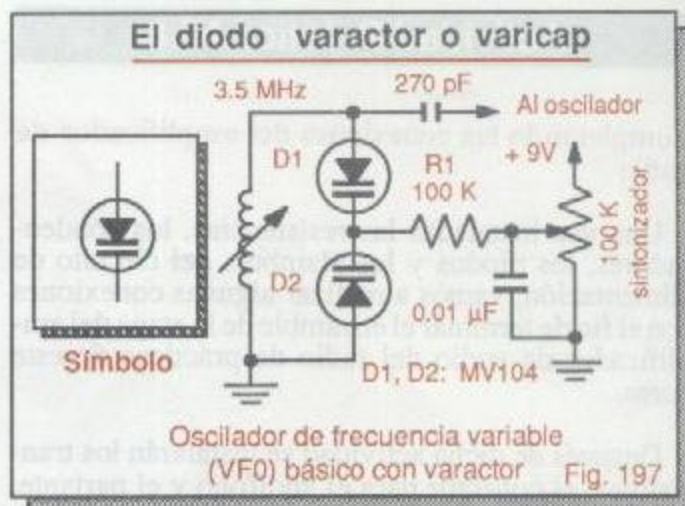
Los *varactores* son diodos de capacitancia variable que se utilizan como sintonizadores en sistemas de comunicaciones, especialmente en FM.

Poseen una región de juntura extremadamente flexible y ofrecen su máxima capacitancia con voltaje de polarización cero. En la figura 197 tenemos un circuito típico de aplicación. Estos diodos también reciben el nombre de diodos *Varicap*.

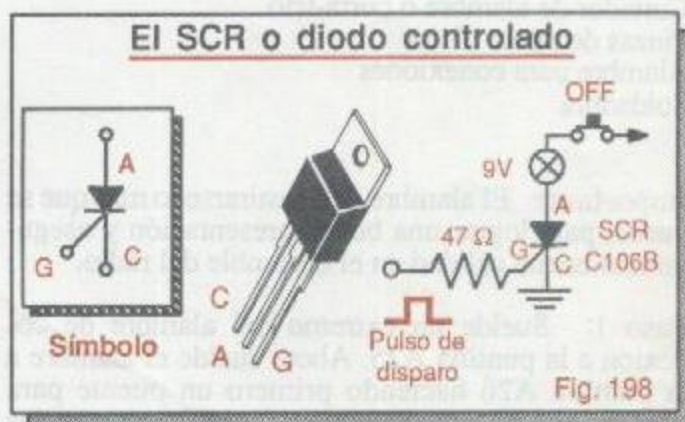
Los *rectificadores controlados de silicio* o SCRs son diodos de potencia que, además de ánodo y cátodo, tienen un tercer electrodo de control llamado *compuerta* o *Gate*. Cuando se polariza en directo, un SCR sólo conduce cuando recibe un pulso de disparo válido en la compuerta.

Una vez que entra en conducción, el SCR continúa conduciendo, incluso si se suspende la señal de la compuerta.

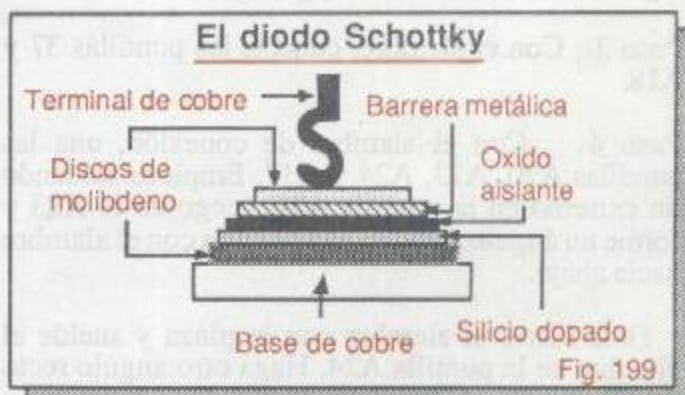
Esta característica lo hace muy útil como interruptor de estado sólido en aplicaciones de control y de potencia.



En la figura 198 se muestra un circuito práctico de utilización con SCR.



Los *diodos Schottky* tienen una caída de voltaje directa (VF) muy pequeña, del orden de 0.3 V o menos. Operan a muy altas velocidades y se utilizan en fuentes de potencia, circuitos de alta frecuencia y sistemas digitales. En la figura 199 se muestra su estructura interna. Reciben también el nombre de diodos de recuperación rápida (fast recovery diodes) o diodos de portadores calientes.





## Actividad Práctica Nº 8

### Completando las conexiones del amplificador de audio

Una vez instaladas las resistencias, los condensadores, los diodos y los alambres del circuito de alimentación, vamos a realizar algunas conexiones con el fin de terminar el ensamble de la etapa del amplificador de audio del radio de prácticas de este curso.

Después de dicha actividad se instalarán los transistores, el conector para el audífono y el parlante, quedando así lista esta importante etapa del radio.

### Herramientas y materiales necesarios

Cautín de 25 o 40 vatios  
Cortador de alambre o corta-frío  
Pinzas de punta plana  
Alambre para conexiones  
Soldadura

**Importante:** El alambre debe estirarse lo más que se pueda, para lograr una buena presentación y asegurar una buena calidad en el ensamble del radio.

**Paso 1:** Suelde un extremo del alambre de conexión a la puntilla A25. Ahora suelde el alambre a la puntilla A26 haciendo primero un puente para que no se una con el alambre que hay entre las puntillas 36 y 37.

Halando firmemente el alambre con una pinza, suéldelo a la puntilla A27. Después de hacer esta soldadura, corte el alambre con el cortafrío.

**Paso 2:** Con el alambre de conexión, conecte las puntillas A28, A29 y 33. Suelde primero un extremo en A28 y hale fuerte, soldando en la puntilla 33. Corte el alambre en ésta y suelde en la puntilla A29. Repase las soldaduras si es necesario, para lograr una buena conexión y presentación.

**Paso 3:** Con el alambre, conecte las puntillas 37 y A18.

**Paso 4:** Con el alambre de conexión, una las puntillas A20, A23, A24 y A17. Empiece soldando un extremo en la puntilla A20, luego en la A23 y forme un ángulo recto en esa puntilla con el alambre hacia abajo.

Hale fuerte el alambre con la pinza y suelde el alambre en la puntilla A24. Haga otro ángulo recto

hacia la izquierda y suelde el alambre en la puntilla A17 antes de cortar.

**Paso 5:** Con el alambre de conexión, una las puntillas A22 y 21.

**Paso 6:** Con el alambre de conexión, una las puntillas A9, A10 y A15.

Forme un puente entre las puntillas A9 y A10, como se muestra en la guía para la instalación de componentes, para que este alambre no haga cortocircuito con el puente que hay entre las puntillas 37 y 38. Forme un ángulo recto hacia la derecha en A10 y conecte en A15.

**Paso 7:** Con el alambre de conexión, una las puntillas A12, A13 y A16, formando ángulo recto hacia la derecha en A13.

**Paso 8:** Con el alambre de conexión, una las puntillas A14 y 20.

**Paso 9:** Con el alambre de conexión, una las puntillas A8 y A12, haciendo un puente para evitar la unión con el alambre que conecta las puntillas 29 y 31.

**Paso 10:** Con el alambre de conexión, una las puntillas A5, A6 y A7, haciendo un puente en el tramo A6 - A7 como se muestra en la guía.

**Paso 11:** Con el alambre de conexión, una las puntillas C7, A1 y A2, formando ángulo recto hacia abajo en la puntilla A1.

**Paso 12:** Con el alambre de conexión, una las puntillas A4 y 18.

Una vez terminada esta actividad, repase cada uno de los pasos aquí descritos, con el fin de verificar que hayan sido conectados correctamente todos los puntos indicados.

Repase las soldaduras que tengan un mal aspecto físico y rectifique las trayectorias de los alambres con el fin de que queden lo más rectos posibles.

De la buena calidad de estas conexiones depende en gran parte el buen funcionamiento del radio. Como ejercicio, puede verificar las conexiones con un multímetro ajustado, para la medida de ohmios, en la escala más baja.



# Los Transistores

En esta lección continuamos nuestro estudio de los dispositivos semiconductores con uno de sus componentes más importantes: *el transistor*. Enfocaremos nuestra atención en los transistores bipolares (NPN y PNP) y en los de efecto de campo (JFET y MOSFET), haciendo especial énfasis en sus principios de operación, sus características y sus configuraciones básicas.

## Qué es un transistor

La palabra **transistor** se ha derivado de **transfer resistor** (resistencia de transferencia) y designa, en forma genérica, a un dispositivo o componente electrónico de tres terminales, cuya resistencia interna es una función del nivel de corriente o voltaje aplicado a uno de sus terminales.

Aprovechando esta propiedad, el transistor se utiliza para amplificar señales, para producir ondas de corriente alterna (oscilaciones) o como suiche electrónico.

El transistor, inventado en 1948 en los laboratorios de la Bell Telephone en Estados Unidos es, sin duda, uno de los adelantos más significativos de nuestra era y uno de los componentes más versátiles e importantes de la electrónica moderna. De hecho, todos los circuitos integrados, que han revolucionado la ciencia moderna, se fabrican con transistores.

El transistor reemplazó, con grandes ventajas, a los tubos de vacío o válvulas en todos los circuitos electrónicos. Sus principales características son: tamaño reducido, bajo consumo de potencia, alta confiabilidad y costo mínimo.

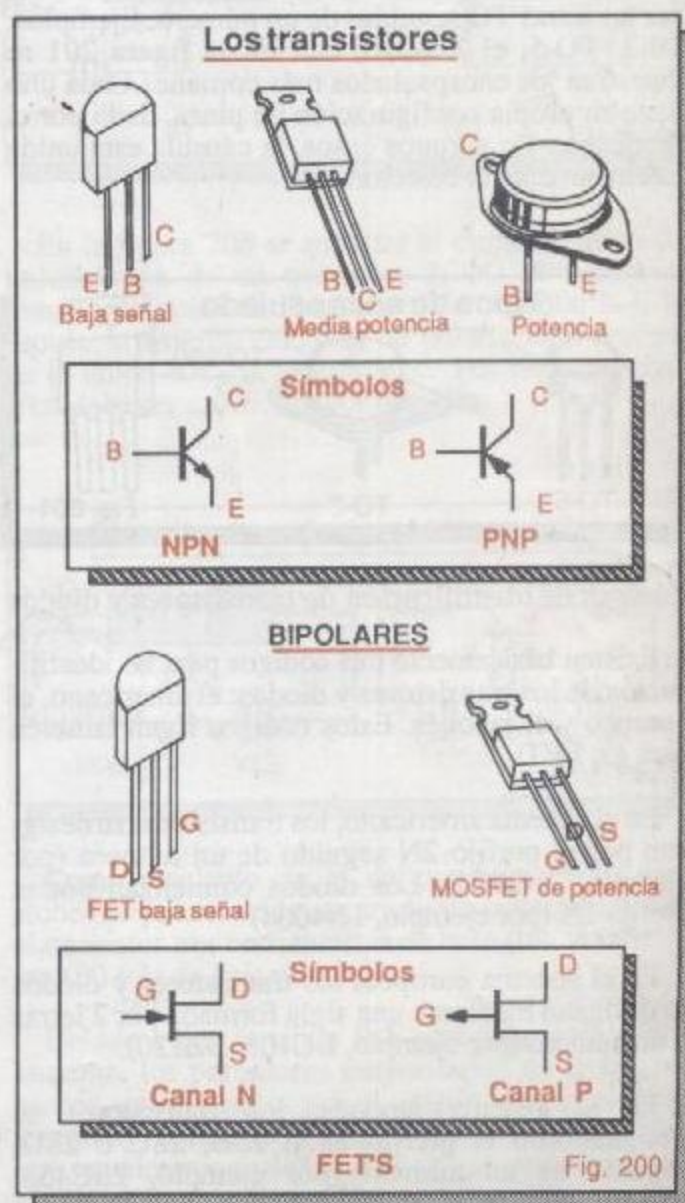
## Clases de transistores

Existen dos grandes grupos de transistores: los transistores **bipolares** y los transistores de efecto de campo o **FETs**. Los bipolares son dispositivos controlados por corriente y los FET son dispositivos controlados por voltaje. Los FET se conocen también como transistores unipolares.

En los transistores bipolares, los tres terminales se denominan **emisor** (E), **colector** (C) y **base** (B). En los FET, se designan como **fuentes** (S), **drenador** (D) y **compuerta** (G). La base y la compuerta actúan, respectivamente, como electrodos de control.

Los transistores bipolares pueden ser NPN o PNP. Los FET pueden ser de canal N o de canal P y de unión (JFET) o de compuerta aislada (MOSFET).

En la figura 200, se muestra un resumen de los símbolos utilizados en los diagramas electrónicos para referirse a los diferentes transistores de cada grupo.



De acuerdo a su aplicación, existen transistores de pequeña señal, de conmutación, de potencia, de alta frecuencia, etc.



## Tipos de encapsulados

Los transistores se fabrican en serie, formando simultáneamente varios cientos o millares de unidades sobre una oblea semiconductora de 38 a 50 mm de diámetro y luego cortándolos uno por uno. Las técnicas de fabricación más utilizadas son los procesos de aleación, difusión y crecimiento epitaxial.

Una vez contruidos, los transistores se encierran en cápsulas plásticas o metálicas. La cápsula protege al dispositivo de la humedad y otros contaminantes, sirve como disipador de calor, aloja los pines del transistor, facilita su manipulación, etc.

El tipo de encapsulado se identifica generalmente por las letras TO seguidas de un número. Ejemplos: TO-3, TO-5, el TO-220, etc. En la figura 201 se muestran los encapsulados más comunes. Cada uno tiene su propia configuración de pines, dada por el fabricante. En algunos casos, la cápsula está unida eléctricamente al colector.



## Códigos de identificación de transistores y diodos

Existen básicamente tres códigos para la identificación de los transistores y diodos: el americano, el europeo y el japonés. Estos códigos rigen también para los FETs.

En el sistema americano, los transistores se designan por el prefijo 2N seguido de un número (por ejemplo, 2N3904). Los diodos comienzan por el prefijo 1N (por ejemplo, 1N4004).

En el sistema europeo, los transistores y diodos se designan mediante una sigla formada por 2 letras y un número (por ejemplo, BC108, BZ120).

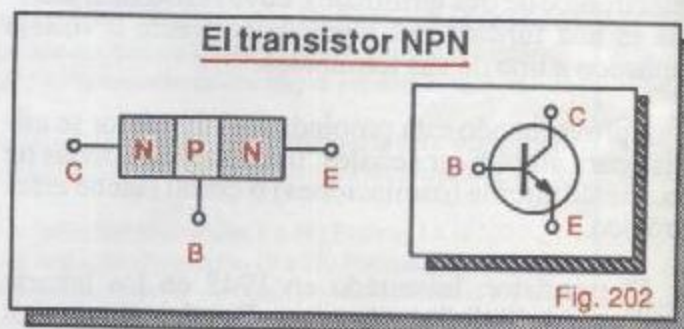
En el sistema japonés, los transistores se designan con el prefijo 2SA, 2SB, 2SC o 2SD, seguido de un número (por ejemplo, 2SC458, 2SA65, 2SD926, etc.).

Es importante señalar que, a pesar de esta normalización, algunos fabricantes insisten en utilizar sus propias referencias (por ejemplo, ECG123AP, CA3082, TIP31, etc.).

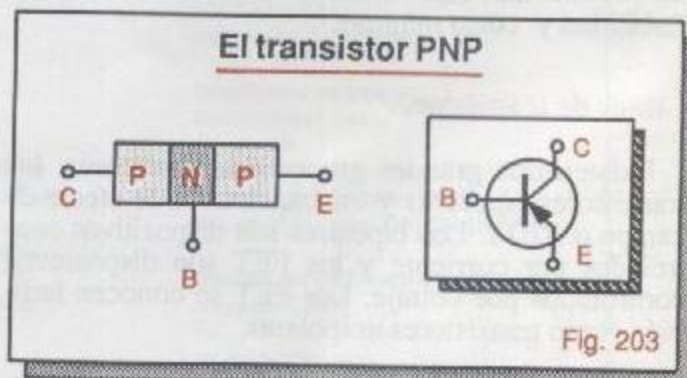
## Transistores bipolares

Un transistor bipolar es un dispositivo formado por tres capas de material semiconductor, organizadas en forma de "sandwich". Puede ser un material tipo N entre dos materiales tipo P o viceversa. De acuerdo a la forma como se alternen estas tres capas, se pueden obtener dos tipos de transistores: el tipo NPN y el tipo PNP.

En la figura 202 se muestra la estructura y el símbolo de un transistor NPN. Está formado por una región tipo P muy delgada colocada entre dos regiones tipo N ligeramente dopadas. La capa P del centro es la *base* (B) y las 2 capas N de los extremos son el *emisor* (E) y el *colector* (C), respectivamente.



En la figura 203 se muestra la estructura y el símbolo de un transistor PNP. Está formado por una región tipo N muy delgada, colocada entre dos regiones tipo P ligeramente dopadas. La capa N del centro es la *base* (B) y las 2 capas P de los extremos son el *emisor* (E) y el *colector* (C), respectivamente.



Observe que la única diferencia entre los símbolos de los transistores NPN y PNP es la dirección en que apunta la flecha de emisor. En un PNP, la flecha entra ("penetra") y en un NPN sale ("no penetra").



Además, debido a la forma como se alternan las capas P y N, en un transistor bipolar se originan los uniones o junturas PN: una entre emisor y base y otra entre colector y base. A estas zonas las denominaremos, respectivamente, unión B-E o E-B y unión B-C o C-B.

### Características constructivas especiales de los transistores

En un transistor bipolar se han alterado ciertas características eléctricas y físicas de las regiones que conforman la base, el emisor y el colector, con el fin de conseguir las propiedades excepcionales que caracterizan al dispositivo. Veamos las más importantes.

En primer lugar, la base es una región sumamente estrecha y poco dopada en relación a las otras dos. En consecuencia, tiene una concentración muy baja de portadores de corriente.

La estrechez de la región de base facilita, además, el paso rápido de los portadores mayoritarios de corriente desde el emisor hasta el colector.

En segundo lugar, la región de emisor está fuertemente dopada y la concentración de portadores mayoritarios disponibles supera ampliamente la de la base.

En el caso de un transistor NPN, por ejemplo, lo anterior significa que la base no posee la suficiente cantidad de huecos para combinarse con todos los electrones que puede suministrar el emisor. En consecuencia, la corriente de polarización directa o de conducción que circula a través de la unión B-E es relativamente pequeña.

En tercer lugar, la región de colector es sumamente amplia y tiene una alta concentración de portadores minoritarios en relación a la base y muy pocos portadores mayoritarios en comparación con el emisor. Como consecuencia, la corriente de polarización inversa o de fuga que circula a través de la unión B-C es muy pequeña.

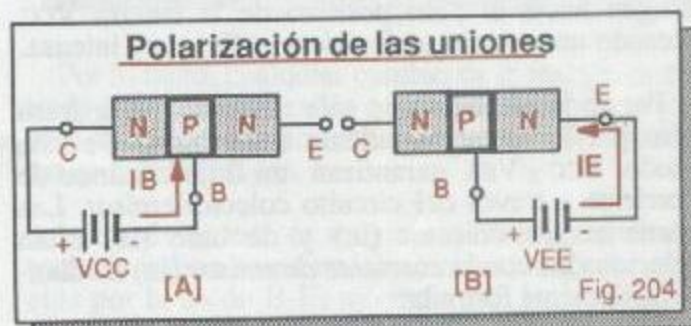
### Funcionamiento del transistor NPN

La función básica y más importante de un transistor es la amplificación de corriente. Para que el dispositivo desarrolle correctamente esta misión, sus dos uniones o junturas PN deben polarizarse en forma adecuada. Específicamente, la unión E-B debe polarizarse en directo y la unión C-B en inverso, como si se tratara de dos diodos.

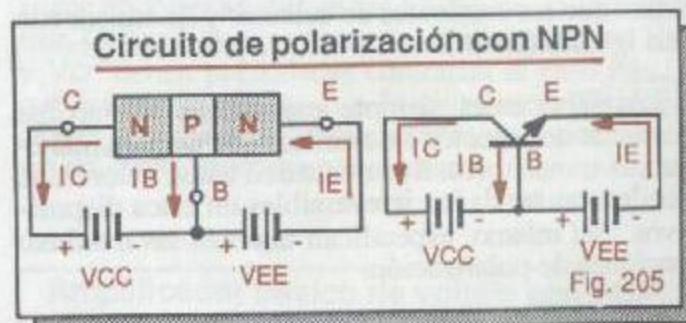
Lo anterior significa que, en un transistor NPN, la base (P) debe ser positiva con respecto al emisor (N), y negativa con respecto al colector (N).

Asimismo, en un transistor PNP, la base (N) debe ser negativa con respecto al emisor (P) y positiva con respecto al colector (P).

Estas condiciones se implementan en la práctica mediante dos voltajes externos de CC, aplicados simultáneamente. En la figura 204B se muestra la forma de polarizar directamente la unión B-E de un transistor NPN, y en la figura 204A la forma de polarizar inversamente la unión B-C del mismo.



En la figura 205 se muestra el circuito básico de polarización de un transistor NPN. El voltaje o tensión de polarización directa de la unión B-E la provee la batería VEE, y el de polarización inversa de la unión B-C, la batería VCC. Por regla general, VCC debe ser mucho mayor que VEE.



Como resultado de la aplicación de estas tensiones de polarización, se producen internamente en el transistor tres corrientes: la de base ( $I_B$ ), la de emisor ( $I_E$ ) y la de colector ( $I_C$ ).

Debido a que la unión B-E está polarizada directamente, los portadores mayoritarios de ambas regiones son obligados por el voltaje VEE a cruzar la juntura y combinarse mutuamente. Esto significa que los electrones del emisor (N) se combinan con los pocos huecos disponibles en la base (P).

En realidad, sólo del 1 al 5% de los electrones suministrados por el emisor se combinan con huecos en la base, formándose así una corriente de base ( $I_B$ ) muy débil.



Por cada combinación electrón-hueco, penetra un electrón por el emisor y sale otro por la base. De este modo, VEE garantiza un flujo continuo de corriente a través del circuito emisor-base.

Los electrones restantes (del 95 al 99%) que invaden la base, son atraídos hacia el colector por la fuerte tensión inversa de polarización VCC de la unión B-C.

Estos electrones cruzan la unión B-C, pasan a través de la extensa región N de colector y se dirigen hacia el polo positivo de la batería VCC, creando una *corriente de colector* ( $I_C$ ) muy intensa.

Por cada electrón que sale del colector, ingresa otro por la base, procedente del emisor. De este modo, VCC y VEE garantizan un flujo continuo de corriente a través del circuito colector-emisor. Las corrientes de colector ( $I_C$ ) y de base ( $I_B$ ) están relacionadas con la *corriente de emisor* ( $I_E$ ) mediante la siguiente fórmula:

$$I_E = I_B + I_C$$

Es decir, la corriente de emisor es igual a la suma de las corrientes de base y de colector o, en otras palabras, la corriente de colector es igual a la corriente suministrada por el emisor menos la corriente que se pierde en la base. Para efectos prácticos, se considera que las corrientes de colector y de emisor son casi iguales ( $I_C \approx I_E$ ).

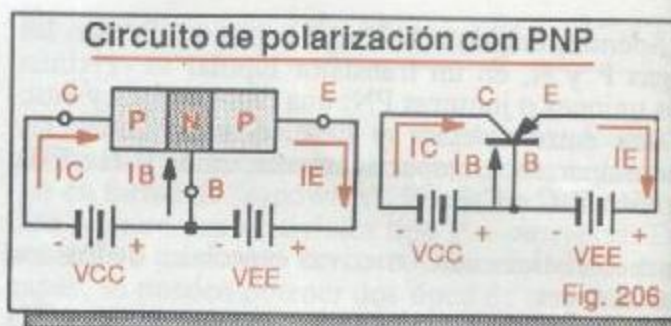
Los fabricantes siempre especifican la máxima corriente de colector o de emisor que pueden manejar sus transistores. Si se exceden estos valores, se pueden causar daños irreversibles en estos dispositivos. Así mismo, especifican también las máximas tensiones de polarización.

La capacidad de un transistor para amplificar corriente se mide mediante dos parámetros muy importantes llamados *alfa* ( $\alpha$ ) y *beta* ( $\beta$ ) que estudiaremos posteriormente.

### Funcionamiento del transistor PNP

En la figura 206 se muestra el circuito básico de polarización de un transistor PNP. Su funcionamiento es exactamente igual al del transistor NPN descrito anteriormente con dos excepciones:

a) En un transistor PNP, los portadores mayoritarios de corriente son huecos y no electrones como en el transistor NPN. Por lo tanto, las corrientes  $I_B$ ,  $I_C$  e  $I_E$  tienen direcciones contrarias a las que llevan en el caso NPN.



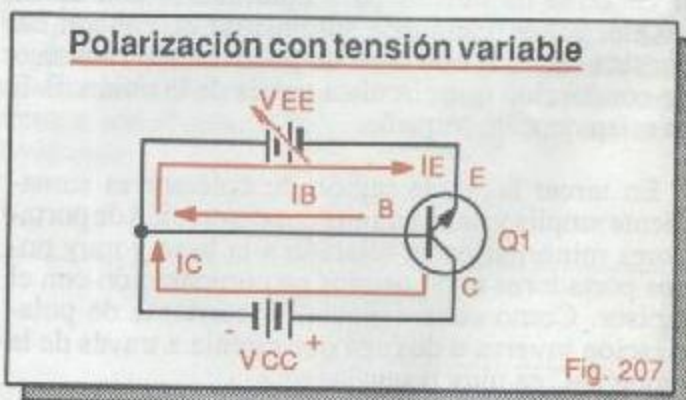
b) Las polaridades de las tensiones de polarización directa (VEE) e inversa (VCC) son las opuestas al caso NPN.

**Nota:** Estrictamente hablando, una corriente es un flujo de electrones y no de huecos (los huecos no son partículas físicas). Por lo tanto, imagine siempre una corriente de huecos como una corriente de electrones que se desplaza en sentido contrario.

### El transistor bipolar como amplificador

Una vez familiarizados con la acción básica que tiene lugar en el interior de un transistor, vamos a ver cómo puede emplearse un transistor para amplificar señales electrónicas.

En la figura 207 se muestra nuevamente el circuito de polarización de un transistor NPN, pero utilizando una tensión de polarización VEE variable.



El efecto de VEE es variar la cantidad de electrones que suministra el emisor a la base. Al aumentar VEE, aumenta la corriente de emisor ( $I_E$ ) y, por lo tanto, pasan más electrones al colector.

Como consecuencia, aumenta la corriente de colector ( $I_C$ ). Los electrones que no pasan al colector se combinan con los huecos de la base, aumentando la corriente de base ( $I_B$ ).

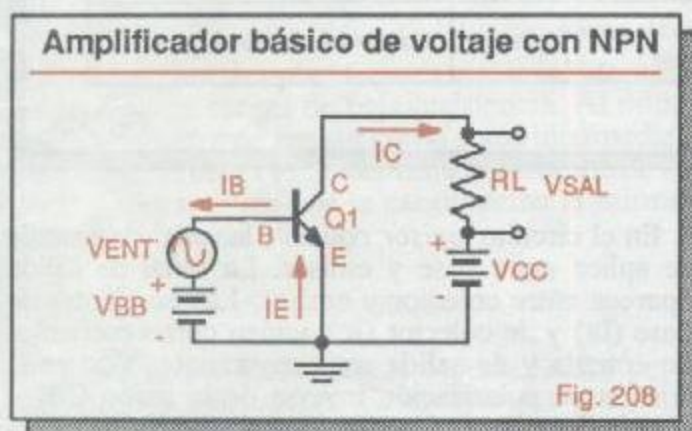
Al disminuir VEE, sucede el efecto contrario y las tres corrientes se reducen en la misma proporción.



Todo lo anterior es una consecuencia directa de la relación  $I_E = I_B + I_C$ .

Para utilizar el circuito de la figura 207 como amplificador de corriente o de voltaje, el transistor debe ser capaz de aceptar a la entrada una señal pequeña y suministrar a la salida una señal de mayor intensidad o amplitud. *La señal de salida debe, por tanto, ser una réplica ampliada de la señal de entrada.*

Un circuito básico que permite utilizar el transistor (NPN, en este caso) como amplificador de voltaje se muestra en la figura 208. Observe que se ha intercalado una resistencia ( $R_L$ ) en el circuito colector-emisor y que se ha interrumpido el circuito emisor-base para inyectar la señal de entrada.



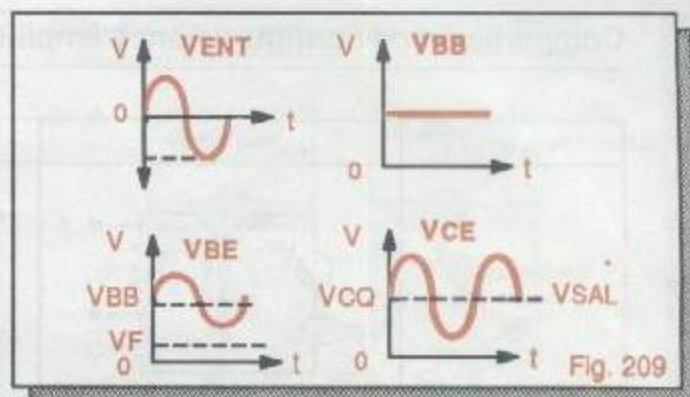
La resistencia  $R_L$  se denomina *resistencia de carga* y su propósito es permitir que entre sus terminales se desarrolle una tensión de salida ( $V_{SAL}$ ) cuando la atraviesa la corriente de colector.

El efecto de la señal de entrada ( $V_{ENT}$ ) es superponerse a la tensión de polarización original ( $V_{BB}$ ) y variar el voltaje total de polarización entre base y emisor ( $V_{BE}$ ).

En la figura 209 se representan gráficamente estos 3 voltajes para mayor claridad. Se supone que  $V_{ENT}$  es un voltaje alterno y que  $V_{BE}$  se mantiene siempre por encima de la caída directa de voltaje de la unión B-E ( $\approx 0.7V$ ).  $V_{CQ}$  es el voltaje de *reposo* entre colector y emisor, sin señal de entrada.

Si la señal de entrada tiene la misma polaridad de  $V_{BB}$ , la tensión de polarización  $V_{BE}$  aumenta y por lo tanto aumentan  $I_B$  e  $I_C$ . Al aumentar  $I_C$ , aumenta la tensión de salida.

Si la polaridad de la señal de entrada es contraria a la de  $V_{BB}$ , la tensión de polarización  $V_{BE}$  disminuye y, en consecuencia, disminuyen  $I_B$  e  $I_C$ . Como resultado, disminuye la tensión de salida.

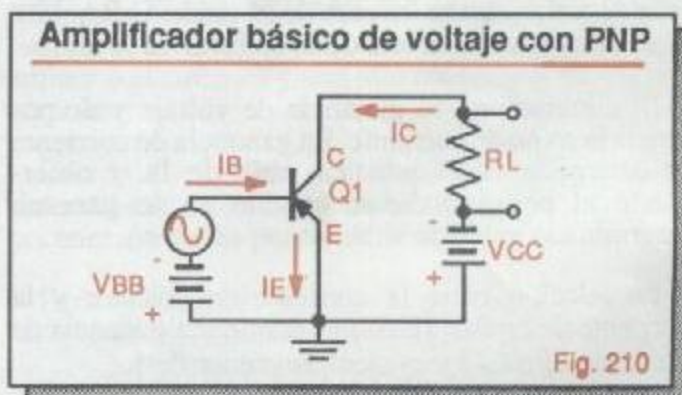


Por lo tanto, cualquier cambio en la tensión de entrada produce un cambio correspondiente en la tensión de salida. Sin embargo, el cambio en esta última es mucho mayor.

La razón de esto es muy sencilla: la señal de entrada se aplica a una resistencia muy baja (la ofrecida por la unión B-E) mientras que la de salida se desarrolla sobre una resistencia muy alta (la de carga  $R_L$ ).

El circuito descrito anteriormente es básicamente un *amplificador de voltaje*. En la siguiente sección veremos cómo puede conectarse un transistor para proveer, además, amplificación de corriente y amplificación de potencia.

En la figura 210 se muestra la versión con transistor PNP del amplificador básico de voltaje anterior. Observe que las tensiones de polarización  $V_{BB}$  y  $V_{CC}$  tienen polaridades contrarias al caso NPN y que las corrientes  $I_E$ ,  $I_B$  e  $I_C$  circulan en las direcciones opuestas. El funcionamiento del circuito es, sin embargo, exactamente el mismo.



### Configuraciones básicas de circuitos amplificadores con transistores

Los transistores bipolares (NPN o PNP) se pueden conectar de tres formas diferentes para proveer la importante función de amplificación.



## Comparación de configuraciones amplificadoras básicas con transistores bipolares

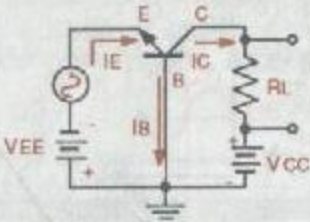
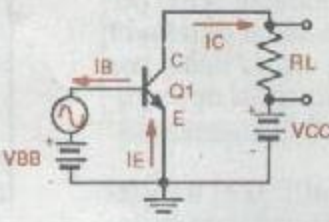
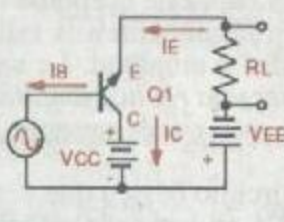
Parámetros	Base común	Emisor común	Colector común
Configuración básica			
Ganancia de voltaje	Mayor de 1	Mayor de 1	Menor de 1
Ganancia de corriente	Menor de 1 ( $\alpha = 0.92$ a $0.98$ )	Mayor de 1 ( $\beta = 10$ a $400$ )	Mayor de 1 ( $\beta = 10$ a $400$ )
Ganancia de potencia	Mayor de 1	Mayor de 1	Mayor de 1
Impedancia de entrada	Muy baja ( $30 \Omega$ - $40 \Omega$ )	Moderada ( $1 \text{ K}\Omega$ - $10 \text{ K}\Omega$ )	Muy alta (más de $100 \text{ K}\Omega$ )
Impedancia de salida	Muy alta ( $1 \text{ M}\Omega$ - $2 \text{ M}\Omega$ )	Moderada ( $10 \text{ K}\Omega$ - $50 \text{ K}\Omega$ )	Muy baja (menos de $100 \Omega$ )
Aplicación típica	Amplificación de altas frecuencias	Amplificación de bajas frecuencias	Acoplamiento de impedancias

Fig. 211

Estas configuraciones se denominan *base común*, *emisor común* y *colector común*.

En la figura 211 se comparan cualitativamente estos tres montajes desde los siguientes puntos de vista: impedancia de entrada, impedancia de salida, ganancia de corriente, ganancia de voltaje, ganancia de potencia y aplicaciones típicas.

En el circuito *base común*, la señal de entrada se aplica entre emisor y base. La señal de salida aparece entre colector y base. Las corrientes de emisor ( $I_E$ ) y de colector ( $I_C$ ) actúan como corrientes de entrada y de salida respectivamente.  $V_{CC}$  es la tensión de polarización inversa de la unión C-B y  $V_{EE}$  la de polarización directa de la unión B-E.

El circuito provee ganancia de voltaje y de potencia pero no de corriente. La ganancia de corriente se determina en la práctica variando  $I_E$ , y observando el correspondiente cambio en  $I_C$  para un determinado valor de  $V_{CB}$ .

La relación entre la corriente de colector y la corriente de emisor ( $I_C/I_E$ ) se denomina ganancia de corriente *alfa* ( $\alpha$ ) y es siempre menor de 1.

Los fabricantes de transistores especifican en las hojas de datos de sus productos el valor de alfa a una determinada frecuencia, generalmente 1 KHz. Esto se debe a que, cuando se trabaja con señales de CA, este parámetro depende de la frecuencia. La frecuencia a la cual  $\alpha$  se reduce al 70% de su valor nominal se denomina frecuencia de corte alfa ( $F_{AB}$ ).

En el circuito *emisor común*, la señal de entrada se aplica entre base y emisor. La señal de salida aparece entre colector y emisor. Las corrientes de base ( $I_B$ ) y de colector ( $I_C$ ) actúan como corrientes de entrada y de salida respectivamente.  $V_{CC}$  es la tensión de polarización inversa de la unión C-B y  $V_{BB}$  la de polarización directa de la unión B-E.

El circuito provee, simultáneamente, ganancia de corriente, de voltaje y de potencia. Es la configuración más utilizada en los circuitos comunes como radios, amplificadores de sonido y otros.

La ganancia de corriente del montaje emisor común se determina en la práctica variando  $I_B$ , y observando el correspondiente cambio en  $I_C$  para un determinado valor de  $V_{CE}$ . La relación entre la corriente de colector y la corriente de base ( $I_C/I_B$ ) se denomina ganancia de corriente *beta* ( $\beta$ ) o  $h_{FE}$ . En general, el beta de un transistor puede tomar valores entre 10 y 400.

Los fabricantes de transistores especifican en las hojas de datos de sus productos, el valor de beta a una determinada frecuencia, generalmente 1 KHz. Esto se debe a que, cuando se trabaja con señales de CA, este parámetro (al igual que alfa), depende de la frecuencia. La frecuencia a la cual  $\beta$  se reduce al 70% de su valor nominal se denomina frecuencia de corte beta ( $F_{AE}$ ).

En el circuito colector común, la señal de entrada se aplica entre base y colector. La señal de salida aparece entre emisor y colector.



Las corrientes de base ( $I_B$ ) y de emisor ( $I_E$ ) actúan como corrientes de entrada y de salida respectivamente.  $V_{CC}$  es la tensión de polarización inversa de la unión C-B y  $V_{BB}$  la de polarización directa de la unión B-E.

El circuito en colector común se denomina también *seguidor de emisor* y provee ganancia de corriente y de potencia pero no de voltaje. El voltaje de salida es prácticamente igual al voltaje de entrada, excepto por la caída de tensión directa en la unión base-emisor ( $\approx 0.7V$ ).

La ganancia de corriente se determina en la práctica variando  $I_B$  y observando el correspondiente cambio en  $I_E$  para un determinado valor de  $V_{CC}$ . Para efectos prácticos, se considera que las configuraciones emisor común y colector común tienen la misma ganancia de corriente ( $\beta$ ).

Los circuitos de colector común se emplean principalmente para acoplar fuentes de señal de alta resistencia con cargas de baja resistencia. Al utilizarse un seguidor de emisor como etapa intermedia, se evita que la carga exija demasiada corriente de la fuente y se garantiza que la carga reciba la misma tensión de la fuente.

### Prueba de transistores bipolares

Existen varios instrumentos especializados para la prueba de transistores. Estos aparatos realizan, entre otras, las siguientes funciones:

- Diagnostican si un transistor particular es NPN o PNP.
- Determinan si una o ambas uniones están abiertas o en cortocircuito.
- Suministran el valor de sus parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$ , etc.
- Miden las corrientes de fuga.
- Visualizan en un osciloscopio la forma como se comporta el dispositivo ante diferentes valores de voltaje y de corriente.

No obstante, los problemas más comunes (circuitos abiertos y cortocircuitos) se pueden detectar fácilmente utilizando un multímetro en la función de óhmetro.

En la figura 212 se muestra gráficamente la forma de probar con un óhmetro un transistor NPN y un transistor PNP. Se supone que el terminal negro es de polaridad positiva y el rojo de polaridad negativa, como sucede en la mayoría de los casos. Se recomienda utilizar las escalas de  $R \times 100$  o  $R \times 1K$ , por seguridad.

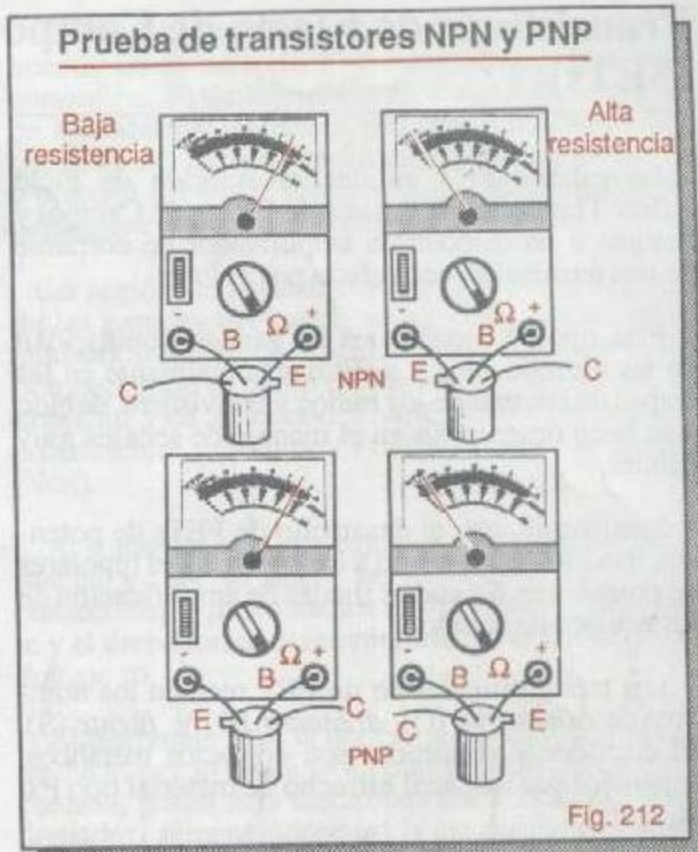


Fig. 212

El método consiste, básicamente, en probar la conducción o no conducción de las uniones B-E y B-C polarizándolas directa e inversamente. Recuerde que una unión PN presenta una baja resistencia en polarización directa y una alta resistencia en polarización inversa.

Un transistor NPN debe dar una baja resistencia cuando el terminal (-) se conecta a la base y el (+) al emisor o al colector y una alta resistencia en el caso contrario.

Un transistor PNP debe dar una baja resistencia cuando el terminal (+) se conecta a la base y el (-) al emisor o al colector y una alta resistencia en el caso contrario.

Un transistor NPN o PNP debe dar una alta resistencia entre colector y emisor, cualquiera que sea la conexión de las puntas de prueba.

Para transistores de baja y mediana potencia, la lectura de resistencia directa es de algunos cientos de  $\Omega$ 's y la de resistencia inversa de varios cientos de  $K\Omega$ 's. Los transistores de alta potencia dan lecturas menores. Sin embargo, las indicaciones de resistencia obtenidas no tienen significación real.

Para realizar la prueba de los transistores con el multímetro, se recomienda desconectarlo del circuito, con el fin de no medir otros componentes que están conectados a él.



# Transistores de Efecto de Campo (FETs)

La palabra FET es una abreviación de Field Effect Transistor (Transistor de Efecto de Campo) y designa a un dispositivo amplificador de corriente de tres terminales, controlado por voltaje.

Este tipo de transistores ha ganado popularidad en los últimos años y se utiliza actualmente en las etapas de entrada de los radios y televisores, debido a su buen desempeño en el manejo de señales muy débiles.

Igualmente, con el desarrollo de FETs de potencia, han ido desplazando a los transistores bipolares de potencia en las etapas finales de amplificación de los equipos de sonido.

Los tres terminales de un FET reciben los nombres de *compuerta* (G), *drenador* (D) y *fuelle* (S). El drenador y el surtidor son contactos metálicos, separados por un canal estrecho de material tipo P o N.

El flujo de corriente a través del canal lo regula el campo eléctrico producido al aplicar un voltaje de control a la compuerta.

La compuerta es también un contacto metálico y puede estar separada del canal por un material de tipo contrario o por una capa de óxido aislante. El primer caso corresponde a los FET de unión o JFET y el segundo a los FET de compuerta aislada o MOSFET. A los MOSFET se les denomina también IGFET.

## Transistores FET de unión o JFET

En la figura 213 se muestra la estructura general de un FET de unión o JFET. Consta de un material de base tipo N o P, llamado *sustrato*, dentro del cual se forma una región de tipo opuesto, en forma de U, llamada *canal*. Sobre esta estructura se obtienen los contactos metálicos correspondientes a la compuerta, el drenador y la fuente.

La compuerta está conectada al sustrato y el drenador y la fuente a los extremos del canal. Por lo tanto, entre la compuerta y el canal se forma una unión PN. Sin embargo, el canal está levemente dopado en relación a la región de compuerta o sustrato.

En la mayoría de los casos, el diseño del canal es simétrico y, por lo tanto, cualquiera de los extremos se puede utilizar como drenador o como fuente. Sin embargo, existen casos especiales en los cuales el

## Estructura del FET de unión

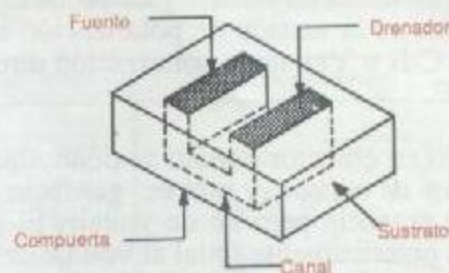


Fig. 213

canal es asimétrico y, por consiguiente, no se pueden intercambiar estos terminales.

Dependiendo de la naturaleza del canal, existen dos tipos de FET: el FET de canal N y el FET de canal P. En la figura 214 se muestran el símbolo y la estructura de un FET canal N y de un FET canal P. En el primer caso, el canal es de material N y el sustrato de material P. En el segundo, el canal es tipo P y el sustrato es tipo N.

## FET de canal N y FET de canal P

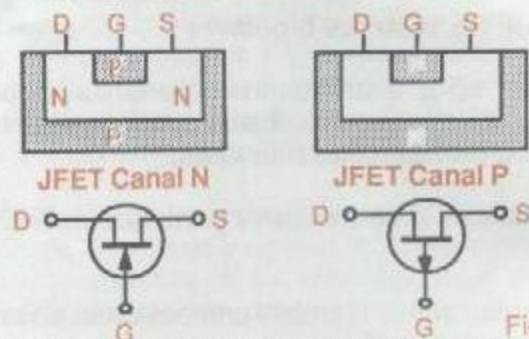


Fig. 214

Observe que la única diferencia entre los símbolos del FET canal N y del FET canal P es la dirección en que apunta la flecha de la compuerta. En el caso del FET canal N, la flecha se dirige hacia adentro y en el caso del FET canal P, se dirige hacia afuera.

## Funcionamiento del FET de unión

Para operar correctamente, los FET de unión necesitan de dos tensiones o voltajes de polarización externas: una entre drenador y fuente y otra entre compuerta y fuente. La primera dirige el paso de los portadores de corriente por el canal y la segunda regula su cantidad.

En la figura 215 se muestra la forma correcta de polarizar un JFET canal N y un JFET canal P. La tensión entre drenador y fuente se designa por  $V_{DS}$



## Polarización del FET de unión

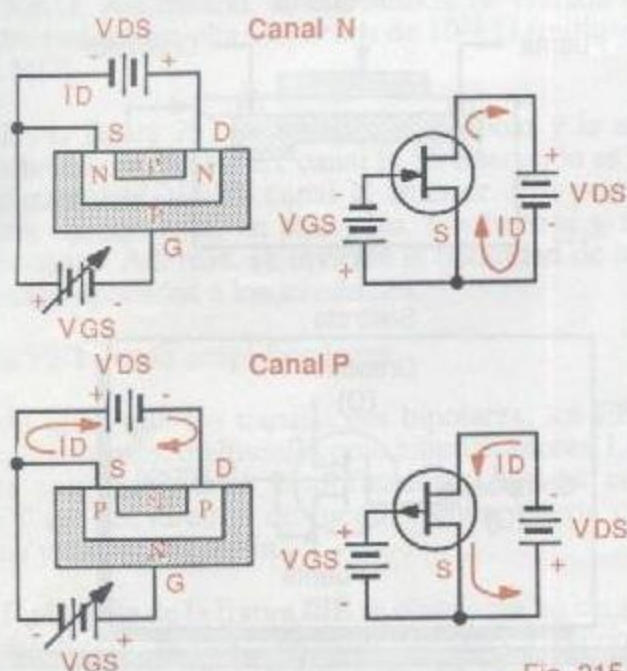


Fig. 215

y la tensión entre compuerta y fuente por  $V_{GS}$ . Esta última se conecta de modo que polarice inversamente la unión PN formada por el canal y el sustrato o compuerta.

Específicamente, en un JFET de canal N, la fuente debe ser *positiva* con respecto a la compuerta y *negativa* con respecto al drenador. Así mismo, en un JFET de canal P, la fuente debe ser *negativa* con respecto a la compuerta y *positiva* con respecto al drenador.

El efecto neto de cualquiera de estas disposiciones es la creación de una corriente entre drenador y fuente, la cual circula a lo largo del canal y se denomina **corriente de drenaje** ( $I_D$ ).

Desde el punto de vista de la tensión  $V_{DS}$ , el canal se comporta simplemente como una resistencia variable, controlada por la tensión  $V_{GS}$ .

Analizaremos únicamente la operación del JFET de canal N. El funcionamiento del JFET de canal P es exactamente igual, teniendo en cuenta que los portadores de corriente son huecos y, por lo tanto, las tensiones de polarización  $V_{GS}$  y  $V_{DS}$  tienen polaridades contrarias.

En el caso del JFET canal N, al aplicar la tensión inversa de polarización  $V_{GS}$ , se crea en las proximidades de la unión PN sustrato-canal una zona de carga espacial, libre de electrones, llamada **región de agotamiento**.

Debido a que existe una fuerte concentración de huecos en el sustrato P o compuerta y una baja concentración de electrones en el canal N, la región de agotamiento se forma por completo dentro del canal. El espesor de esta zona determina el área útil o efectiva del canal y, por lo tanto, su capacidad de dejar pasar más o menos electrones.

La región de agotamiento se extiende a lo largo de las paredes del canal, siendo más amplia en el lado del drenador que en el de la fuente. Esto es así porque, desde el punto de vista de la compuerta, el drenador está sometido a una tensión inversa de polarización más alta ( $V_{DS} + V_{GS}$ ) que la fuente ( $V_{GS}$ ).

Al aumentar  $V_{GS}$ , la región de agotamiento se ensancha y, por lo tanto, se estrecha el canal. En consecuencia, pasan menos electrones entre la fuente y el drenador, disminuyéndose así la corriente de drenaje  $I_D$ .

Al disminuir  $V_{GS}$ , la región de agotamiento se estrecha y, por lo tanto, se amplía el canal. En consecuencia, pasan más electrones entre la fuente y el drenador, aumentándose así la corriente de drenaje  $I_D$ .

De este modo,  $V_{GS}$  varía la resistencia del canal y controla o "modula" la corriente de drenaje  $I_D$ . Aumentando  $V_{GS}$  disminuye  $I_D$  y viceversa. Puesto que  $V_{GS}$  polariza inversamente la unión G-S, el dispositivo presenta una resistencia de entrada extremadamente alta y, a través de la compuerta, sólo fluye una corriente de fuga muy débil.

Naturalmente,  $I_D$  puede hacerse circular por una resistencia de carga cualquiera y así obtener, ganancia de voltaje o de potencia.

La resistencia de entrada de un JFET es, típicamente, del orden de  $10^9 \Omega$  (miles de  $M\Omega$ ). Por lo tanto, no exige corriente de entrada. Esto lo hace ideal para amplificar señales extremadamente débiles. La resistencia de salida, sin embargo, es relativamente alta (de  $50K\Omega$  a  $1M\Omega$ ).

La capacidad de amplificación de un FET se mide observando el efecto de la tensión de compuerta ( $V_{GS}$ ) sobre la corriente de drenaje ( $I_D$ ) para un determinado valor de  $V_{DS}$ . La relación entre ambas cantidades ( $I_D/V_{GS}$ ) se denomina **transconductancia** y se designa por el símbolo  $g_m$ .

Los fabricantes de FETs siempre especifican el valor de  $g_m$  para sus productos. La transconductancia de los JFETs se encuentra típicamente en el rango de 4 a 10 mA/V. Los MOSFET tienden a tener valores mucho más altos, hasta de 20 mA/V inclusive.



## Transistores FET de compuerta aislada o MOSFET

### Generalidades

La palabra MOSFET es una abreviación de Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (Transistor de Efecto de Campo de Semiconductor de Óxido Metálico) y designa a un FET en el cual la compuerta está eléctricamente aislada del canal mediante una fina capa de óxido metálico. A los MOSFET también se les conoce como transistores IGFET o MOS.

A pesar de estar basado en el mismo principio (modulación de la conductividad del canal por voltaje), el MOSFET es marcadamente diferente del FET de unión. Por ejemplo, el JFET trabaja solamente con una polaridad de la tensión de compuerta. El MOSFET admite tanto voltajes positivos como negativos de compuerta.

Los circuitos con MOSFET son altamente inmunes al ruido, consumen muy poca potencia y son muy flexibles. Además, se prestan a la integración en gran escala. De hecho, los MOSFET han dado origen, entre otras, a las populares familias de circuitos integrados MOS, CMOS, NMOS Y PMOS.

Los transistores MOSFET son particularmente sensibles al daño por descarga electrostática (ESD).

Este fenómeno consiste en la creación, generalmente inconsciente, de altos voltajes entre los pines durante su manipulación o transporte. Estos voltajes perforan la capa de óxido metálico y destruyen el dispositivo.

Para proteger un MOSFET del daño por ESD, se recomienda mantener todos sus terminales al mismo potencial (cortocircuitados), hasta que sea instalado finalmente en el circuito. Existen varias formas sencillas de lograrlo: uniendo los pines mediante un alambre delgado, envolviendo los transistores en papel aluminio, etc.

### Funcionamiento

En la figura 216 se muestra la estructura, el símbolo y el circuito básico de polarización de un FET de compuerta aislada o MOSFET de canal N. La compuerta está aislada eléctricamente del canal mediante una fina capa de bióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), la cual le confiere características muy especiales al dispositivo, por ejemplo, una extremadamente alta impedancia de entrada.

Observe que el canal N se forma dentro del sustrato P como en el FET de unión. Sin embargo,

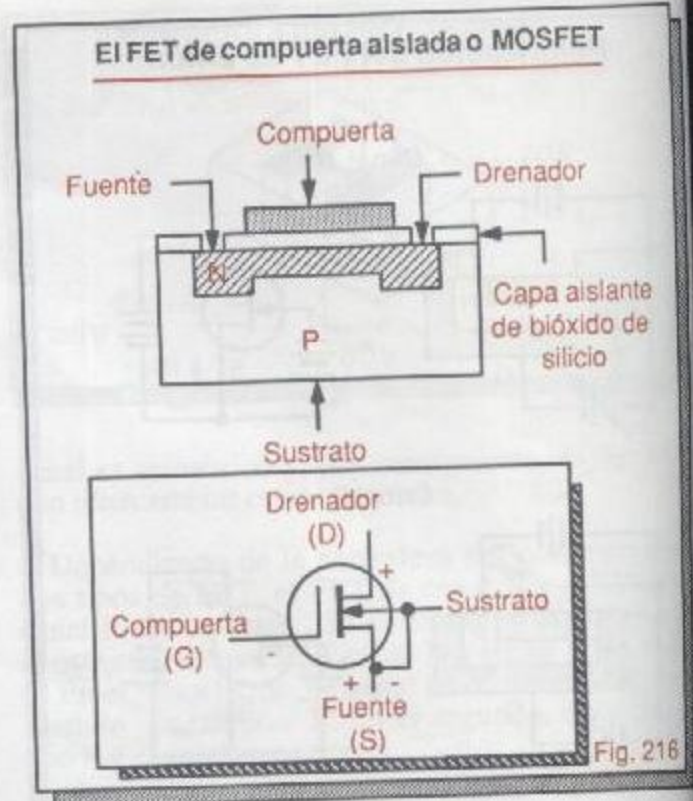


Fig. 216

en el MOSFET, el sustrato está conectado eléctricamente a la fuente y no a la compuerta.

Aunque la compuerta y el canal no forman una unión PN como en el JFET, la compuerta sigue siendo el terminal que controla la conductividad del canal.

El voltaje entre compuerta y fuente ( $V_{GS}$ ) puede ser positivo o negativo y controla la concentración de portadores de corriente (electrones, en este caso) en el canal. Si el drenador es positivo con respecto a la fuente y  $V_{GS}=0$ , fluye una corriente de drenaje a través del canal.

Cuando  $V_{GS}$  se hace negativo, los electrones del canal N son atraídos por los huecos del sustrato P, reduciéndose así la concentración de portadores de corriente dentro del canal. En consecuencia, aumenta la resistencia del canal y se reduce la corriente de drenaje. Se dice, entonces, que el MOSFET está operando en el modo de agotamiento, tal como sucede en un FET de unión.

Cuando  $V_{GS}$  se hace positivo, los electrones del canal N son rechazados por los huecos del sustrato P, aumentándose así la concentración de portadores de corriente dentro del canal. En consecuencia, disminuye la resistencia del canal y aumenta la corriente de drenaje.

Se dice, entonces, que el MOSFET está operando en el modo de realce. Este modo de operación no existe en el FET de unión.



Los valores de transconductancia ( $g_m$ ) de los MOSFET son similares a los de los FET de unión. La resistencia de salida sin carga oscila entre  $10K\Omega$  y  $50K\Omega$ . Así mismo, la impedancia de entrada es extremadamente alta, del orden de  $10^{12} \Omega$  (millones de  $M\Omega$ ).

En la figura 217 se muestra el símbolo y la estructura de un MOSFET canal P. Su operación es la misma del MOSFET canal N anterior. Los portadores de corriente, en este caso, son huecos y no electrones. Además, se invierte la polaridad de los voltajes aplicados a los terminales.

### Los FET como amplificadores

Al igual que los transistores bipolares, los FET se utilizan principalmente como amplificadores. Las tres configuraciones amplificadoras básicas con FET son los circuito de fuente común, puerta común y drenador común.

En la tabla de la figura 218 se comparan las características más notables de estos montajes. Las conexiones son válidas tanto para FETs de unión (JFET) como para FETs de compuerta aislada (MOSFET).

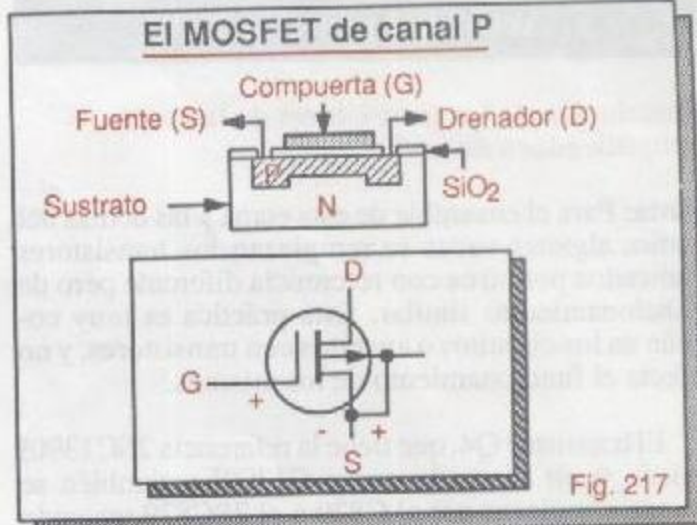


Fig. 217

La configuración fuente común es el montaje más extensamente empleado en circuitos con FETs. Además de proporcionar amplificación de tensión, presenta una resistencia de entrada muy alta y una resistencia de salida moderadamente baja.

Se utiliza en aquellas aplicaciones en las cuales deben conectarse varias entradas a la salida de un circuito sin afectar su funcionamiento.

### Comparación de configuraciones amplificadoras básicas con FETs

Parámetros	Compuerta común	Fuente común	Drenador común
Configuración básica			
Ganancia de voltaje	Mayor de 1	Mayor de 1	Menor de 1
Ganancia de corriente	Menor de 1	Mayor de 1	Mayor de 1
Ganancia de potencia	Mayor de 1	Mayor de 1	Mayor de 1
Impedancia de entrada	Extremadamente alta	Extremadamente alta	Extremadamente alta
Impedancia de salida	Relativamente alta	Moderadamente alta	Relativamente baja
Aplicación típica	Amplificación de altas frecuencias	Amplificación de bajas frecuencias	Acoplamiento de impedancias

Fig. 218



## Actividad práctica N° 9

### Instalación de los transistores de la etapa amplificadora de audio

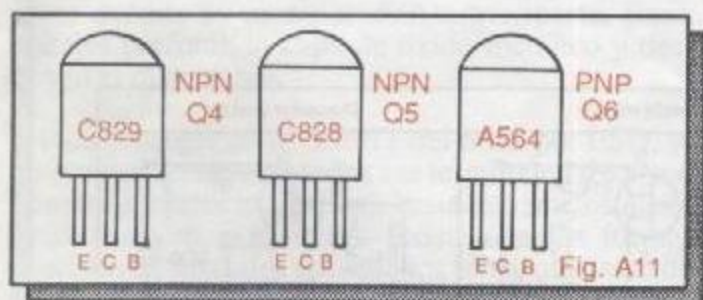
**Nota:** Para el ensamble de esta etapa y las demás del radio, algunas veces se rempazan los transistores indicados por otros con referencia diferente pero de funcionamiento similar. Esta práctica es muy común en los circuitos o aparatos con transistores, y no afecta el funcionamiento de los mismos.

El transistor Q4, que tiene la referencia 2SC1390I puede venir marcado como C1390I y también se puede remplazar por el C829 o el 2SC829 teniendo en cuenta la disposición de los pines que se muestra en la figura A11.

El transistor Q5, originalmente indicado como 2SC735, puede venir marcado como C735 y también se puede remplazar por el C828.

El transistor Q6, originalmente indicado como A564 puede venir marcado como 2SA564 y también se puede remplazar por el C1048G o el 2SA1015.

En la figura A11 se muestra la disposición de los pines de algunos de los transistores mencionados. Si se reciben los transistores originales, éstos se instalan como lo indica el diagrama pictórico.



### Materiales necesarios :

- 1 Transistor NPN 2SC1390I o C1390I (Q4)
- 1 Transistor NPN 2SC735 o C735 (Q5)
- 1 Transistor PNP 2SA564 o A564 (Q6)

**Paso 1:** Tome el transistor Q4, con referencia C1390I, mirándolo de frente. Separe ligeramente los terminales de los extremos y fijándose en el diagrama pictórico, suelde con cuidado el emisor E, terminal derecho, en la puntilla 29. El terminal izquierdo o de la base B, se debe soldar en la puntilla A5 aplicando buena soldadura y fijándose que no se suelten los

terminales del condensador C11 y el puente de alambre que va hacia la puntilla A6.

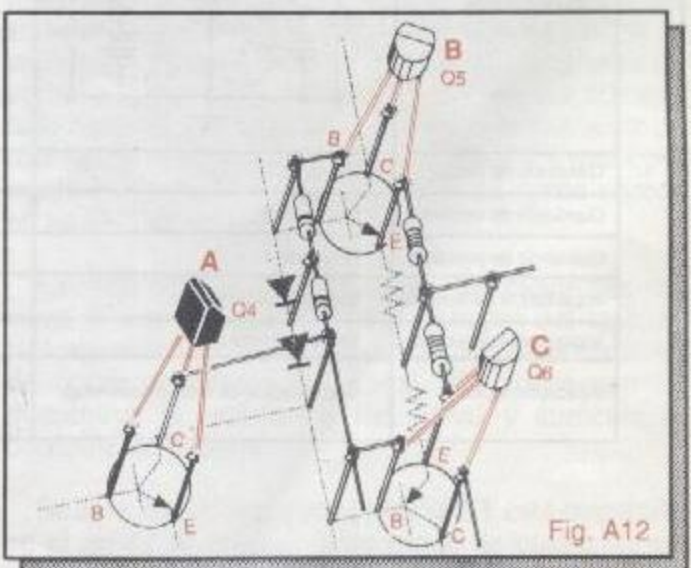
Sosteniendo el transistor con la mano, doble con mucho cuidado y con una pinza delgada, el terminal del centro o colector C y suéldelo en la puntilla A8. Aplique buena soldadura para que queden asegurados los dos terminales que van allí, el colector de Q4 y el puente de alambre que va de la puntilla A8 a la puntilla A12.

**Paso 2:** Tome el transistor NPN Q5, con referencia C735. Siga el mismo procedimiento del paso anterior conectando y soldando primero en la puntilla A19 el terminal del emisor E situado a la izquierda si miramos el transistor de frente.

Luego suelde la base B, terminal de la derecha, en la puntilla A15 y por último, el colector C, terminal del centro, en la puntilla A18.

Sosteniendo el transistor con la mano, arregle con una pinza la dirección de los terminales para que el transistor quede bien orientado físicamente. Los transistores deben quedar como se muestra en la figura A12.

**Paso 3:** Tome el transistor PNP Q6, con referencia A564. Siguiendo el mismo procedimiento anterior, instale y suelde sus terminales así: el emisor E, que va a la izquierda, en la puntilla A21; la base B, terminal de la derecha, en la puntilla A16 y el colector C, terminal del centro, en la puntilla A22.

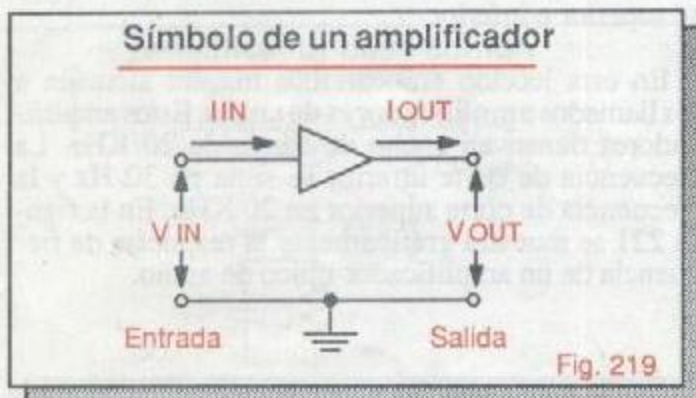




## Amplificadores de Audio

### Qué es un amplificador

Un amplificador (figura 219) es un circuito electrónico que recibe una señal de entrada, la procesa internamente y entrega a la salida una señal que es una réplica ampliada de la señal de entrada. La necesidad de amplificar o convertir una señal débil en una señal fuerte, está prácticamente presente en todos los circuitos electrónicos.



Los amplificadores sólo manejan señales eléctricas (de corriente, voltaje o potencia) o representaciones eléctricas de cantidades físicas como voz, sonido, temperatura, luz, etc. La conversión de estas últimas en señales eléctricas, o viceversa, la efectúan *transductores* como parlantes, micrófonos, cámaras, termistores, etc.

Las señales eléctricas son amplificadas por dispositivos *activos* como transistores, FETs, circuitos integrados, válvulas, etc., asociados a componentes *pasivos* como resistencias, condensadores, bobinas, transformadores, etc.

### Características generales de los amplificadores: Ganancia, impedancia de entrada, impedancia de salida y ancho de banda

La complejidad de un amplificador depende del tipo de señal a amplificar y de la cantidad de amplificación o *ganancia* que ésta requiera. Independientemente de su complejidad, todos los amplificadores tienen en común las siguientes características:

a) Todos utilizan, por lo menos, un dispositivo activo, ya sea transistor bipolar, FET, MOSFET, válvulas, circuito integrado, etc. Los amplificadores que se estudian en esta lección son, en su mayoría,

basados en transistores bipolares y, en algunos casos, en FETs.

b) Todos requieren de una fuente de alimentación de CC, doble o sencilla. El amplificador de audio del radio AM CEKIT, por ejemplo, utiliza una batería de 9V.

c) Su operación se puede resumir especificando la ganancia, la impedancia de entrada, la impedancia de salida y la respuesta de frecuencia.

La **ganancia** es una medida de la cantidad de amplificación. Se define como la relación numérica entre la señal de salida y la señal de entrada. Se habla de ganancia de corriente ( $A_I$ ), de ganancia de voltaje ( $A_V$ ) y de ganancia de potencia ( $A_P$ ). Esto es:

$$A_I = \frac{I_{OUT}}{I_{IN}} \quad A_V = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \quad A_P = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}}$$

La ganancia de un amplificador se puede también expresar en decibelios (dB) como sigue:

$$A_I \text{ (dB)} = 20 \log \frac{I_{OUT}}{I_{IN}} \quad A_V \text{ (dB)} = 20 \log \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$$

$$A_P \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_{OUT}}{P_{IN}}$$

Por ejemplo, si la potencia de entrada de un amplificador es de 0.5W y la potencia de salida es de 5W, la ganancia en dB es de  $10 \times \log_{10} (5/0.5) = 10$  dB. Una relación de potencias de 10 corresponde a un cambio de 10 dB, una relación de potencias de 100 corresponde a un cambio de 20 dB y así sucesivamente.

El oído humano responde logarítmicamente a la relación de potencias y no a su diferencia. Por esta razón, percibimos el mismo cambio de intensidad cuando la potencia de un sonido se incrementa de 0.1 W a 1W, que cuando lo hace de 1W a 10W. En ambos casos, la relación de cambio es de 10 dB.

La **impedancia de entrada** es la resistencia vista por la fuente que genera la señal que va a ser amplificada. Se define como la relación entre el voltaje y la corriente en los terminales de entrada del amplificador. Esto es:



$$Z_{IN} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}}$$

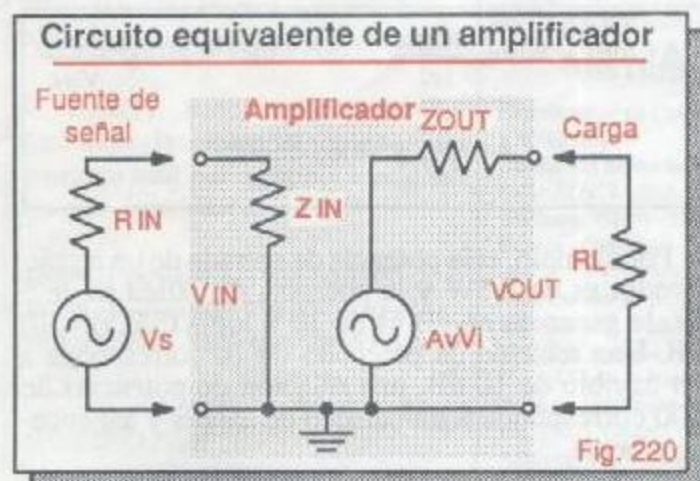
La impedancia de entrada depende no solamente de la resistencia de entrada del elemento activo de amplificación sino también de la presencia de condensadores, resistencias, etc. en el circuito.

La **impedancia de salida** es la resistencia vista por la carga que recibe la señal amplificada. Se define como la relación entre el voltaje y la corriente en los terminales de salida del amplificador. Esto es:

$$Z_{OUT} = \frac{V_{OUT}}{I_{OUT}}$$

La existencia de una impedancia de salida finita causa una pérdida de voltaje en los terminales de salida de un amplificador, cuando se conecta entre los mismos una carga.

En la figura 220 se muestra el circuito equivalente de un amplificador de voltaje con una impedancia de entrada  $Z_{IN}$ , una impedancia de salida  $Z_{OUT}$  y una ganancia de voltaje  $A_v$ .  $R_{IN}$  es la resistencia interna de la fuente de señal y  $R_L$  el valor de la resistencia de carga.



Para garantizar la **máxima transferencia de voltaje** entre una fuente de señal y una carga, la resistencia de la carga debe ser grande comparada con la resistencia interna de la fuente. Como regla general,  $Z_{IN} \geq 10R_{IN}$  y  $R_L \geq 10Z_{OUT}$ . ( $\geq$ : mayor o igual).

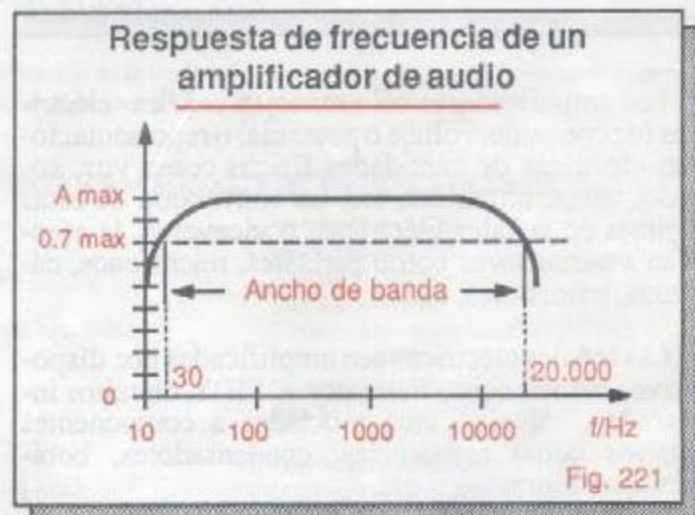
Así mismo, para garantizar la **máxima transferencia de potencia** entre una fuente de señal y una carga, la resistencia de la carga debe ser igual a la resistencia interna de la fuente. Esto implica  $R_L = Z_{OUT}$  y  $Z_{IN} = R_{IN}$ .

La **respuesta de frecuencia** está íntimamente relacionada con la ganancia. Generalmente, la ganancia de un amplificador no es constante para todas las frecuencias de señal posibles. Esto es, dos o más señales de la misma amplitud y forma de onda, pero de frecuencias diferentes, no reciben necesariamente la misma cantidad de amplificación.

Por esto, cuando se especifica la ganancia de un amplificador, debe también especificarse el rango de frecuencias dentro del cual es válida esa ganancia. Este rango recibe el nombre de **ancho de banda** del amplificador y se expresa en unidades de frecuencia (Hz, KHz, MHz, etc).

El ancho de banda se puede también especificar en términos de los límites superior e inferior del mismo. Estos límites se denominan **frecuencias de corte superior e inferior**.

En esta lección enfocaremos nuestra atención a los llamados **amplificadores de audio**. Estos amplificadores tienen un ancho de banda de 20 KHz. La frecuencia de corte inferior se sitúa en 30 Hz y la frecuencia de corte superior en 20 KHz. En la figura 221 se muestra gráficamente la respuesta de frecuencia de un amplificador típico de audio.



La banda de 30 Hz a 20 KHz es el rango de frecuencias que puede ser percibido por el oído humano. Las frecuencias por encima de 20 KHz se denominan **ultrasónicas** y las frecuencias por debajo de 30 Hz se denominan **subsónicas**. Los ultrasonidos, por ejemplo, son percibidos por especies como ratas, plagas, mascotas, etc.

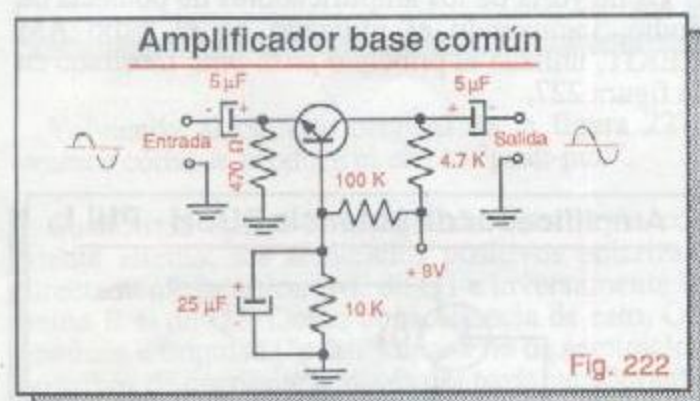
Los amplificadores de audio se utilizan en los equipos de sonido tanto domésticos como de alta fidelidad (Hi-Fi), en los estudios de grabación, en los receptores de radio y televisión, en los juegos de video, etc.



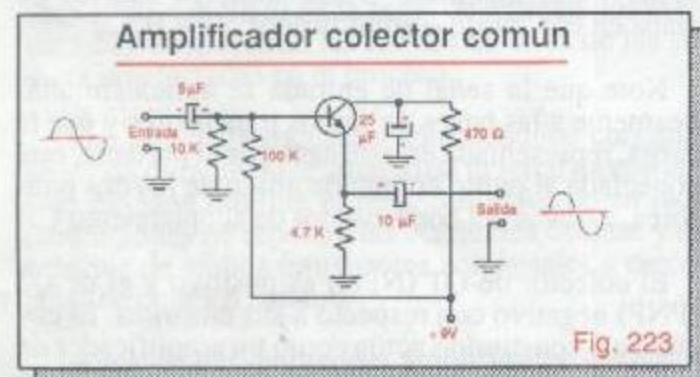
## Amplificadores de voltaje, de corriente y de potencia.

De acuerdo a su función específica, los amplificadores se clasifican en amplificadores de voltaje, de corriente y de potencia. Las señales manejadas por estos circuitos pueden ser de CA (variables con el tiempo) o de CC (constantes).

Los amplificadores de voltaje elevan el nivel de señales de voltaje. Un ejemplo de amplificador de voltaje es el circuito base común mostrado en la figura 222. Como sabemos, este montaje provee ganancia de voltaje y de potencia pero no de corriente. Se caracteriza por su baja impedancia de entrada y su alta impedancia de salida.

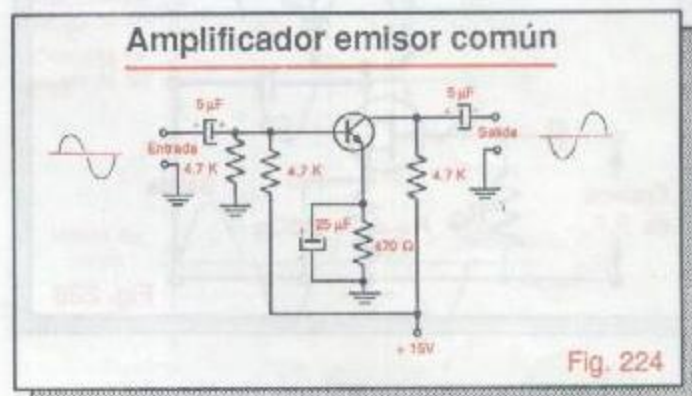


Los amplificadores de corriente elevan el nivel de señales de corriente. Un ejemplo de amplificador de corriente es el circuito colector común mostrado en la figura 223. Como sabemos, este montaje provee ganancia de corriente y de potencia pero no de voltaje. Se caracteriza por su alta impedancia de entrada y su baja impedancia de salida.



Los amplificadores de potencia elevan el nivel de señales de potencia. Puesto que la potencia es el producto de la corriente por el voltaje, un amplificador de potencia puede amplificar simultáneamente voltaje y corriente o sólo voltaje o sólo corriente.

Un ejemplo de amplificador de potencia es el circuito emisor común mostrado en la figura 224. Como sabemos, este montaje provee al mismo tiempo ganancia de voltaje, de corriente y de potencia. Se caracteriza por tener una impedancia de entrada relativamente alta y una impedancia de salida relativamente baja.

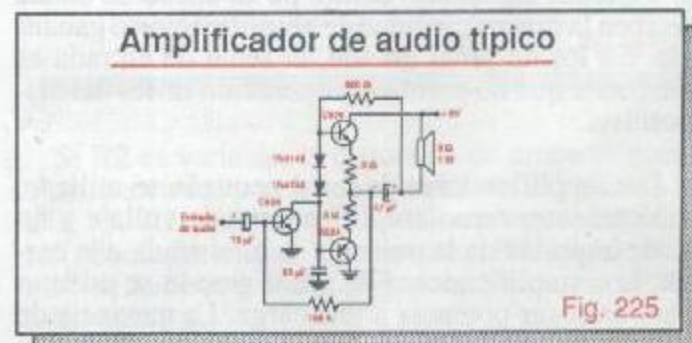


## Amplificadores de audio y de RF

De acuerdo al rango de frecuencias de operación, los amplificadores se clasifican en amplificadores de baja frecuencia y amplificadores de alta frecuencia.

Los de baja frecuencia se denominan **amplificadores de audio** y trabajan con señales desde 0 Hz (CC) hasta 20 KHz. Los de alta frecuencia se denominan **amplificadores de RF** (radio frecuencia) y operan a frecuencias por encima de 20 KHz.

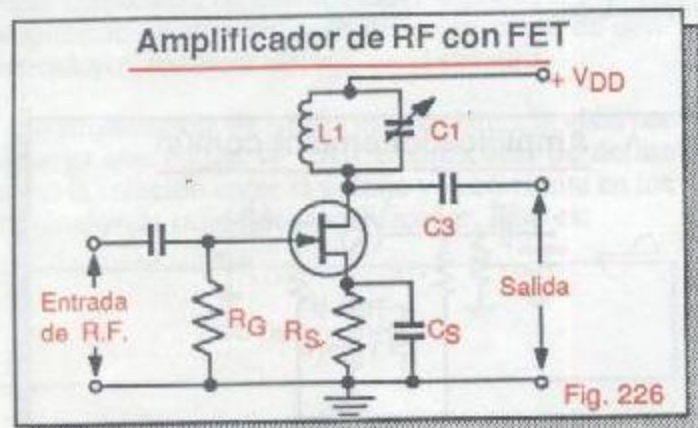
En la figura 225 se muestra el circuito real de un amplificador de audio de dos etapas similar al utilizado en el radio AM CEKIT. La primera etapa o preamplificador, es un amplificador de voltaje y la segunda, es un amplificador de potencia.



El preamplificador aumenta la débil señal de entrada proveniente del detector y el amplificador de potencia la convierte en una señal lo suficientemente fuerte como para impulsar el parlante.



En la figura 226 se muestra el circuito práctico de un amplificador de RF con FET que responde a la configuración fuente común. Note la utilización de un circuito sintonizado LC como carga.



Los amplificadores de RF son similares a los amplificadores de audio en muchos aspectos. Por ejemplo, deben tener una carga en su circuito de salida y necesitan estar correctamente polarizados.

Sin embargo, se diferencian por su selectividad (capacidad de amplificar sólo una banda estrecha de frecuencias) y otras consideraciones de diseño que generalmente se ignoran a bajas frecuencias. La selectividad, en este caso, la provee un circuito resonante LC.

### Amplificadores de pequeña señal y amplificadores de señal grande o de potencia. Rendimiento.

De acuerdo a la magnitud de las señales involucradas, los amplificadores se clasifican en **amplificadores de señal pequeña** y **amplificadores de señal grande**. Estos últimos se denominan también **amplificadores de potencia**.

Los de señal pequeña operan en forma *lineal*, esto es, todas las señales dentro de su ancho de banda reciben la misma cantidad de amplificación o ganancia. En los de señal grande, la señal de entrada es tan fuerte que no permite la operación lineal del dispositivo.

Los amplificadores de señal pequeña se utilizan, básicamente, como amplificadores de voltaje y no es de importancia la potencia suministrada a la carga. Los amplificadores de señal grande se utilizan para entregar potencia a una carga. La ganancia de voltaje en estos últimos no es una consideración importante, pero sí lo es su rendimiento.

El **rendimiento** de un amplificador de potencia se define como la relación entre la potencia de la señal de salida y la potencia que realmente le llega a la car-

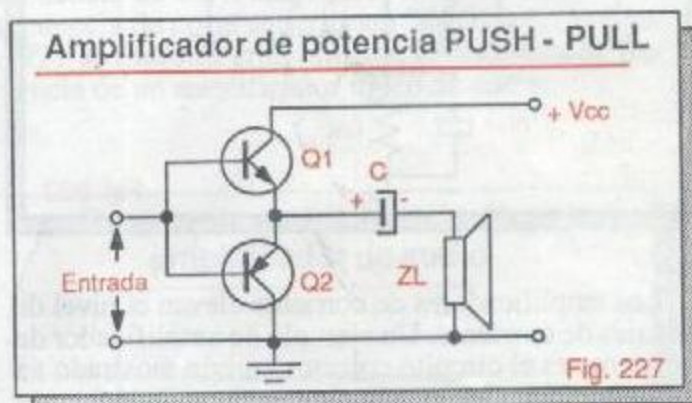
ga. Se expresa generalmente como un porcentaje. Esto es:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Potencia en la carga}}{\text{Potencia de salida}} \times 100$$

Los amplificadores de señal grande o de potencia se caracterizan por presentar diversos grados de **distorsión** en la forma de onda de la señal de salida. Esto es, en un amplificador de potencia, la forma de onda de la señal de salida no es una réplica fiel de la forma de onda de la señal de entrada.

### El amplificador de potencia tipo "push-pull"

La mayoría de los amplificadores de potencia de audio, incluyendo el utilizado en el radio AM CEKIT, utilizan el principio *push-pull* mostrado en la figura 227.



A esta configuración se le denomina también de *simetría complementaria* debido a que utiliza dos transistores complementarios (NPN y PNP) de características idénticas. Otros nombres son los de etapa en contrafase o amplificador clase B.

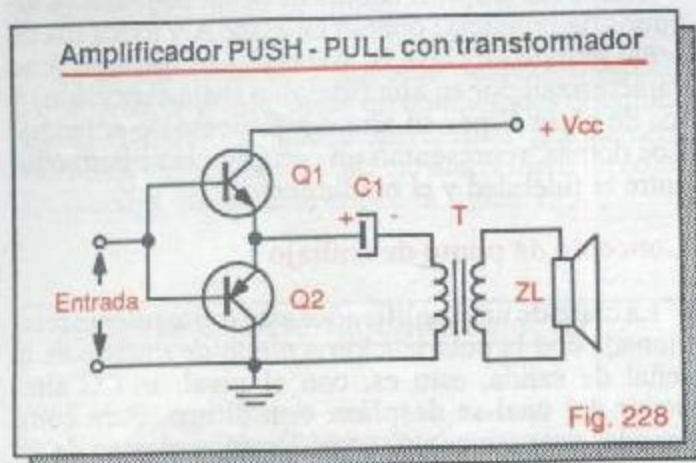
Note que la señal de entrada se aplica simultáneamente a las bases de ambos transistores y que la carga, representada en este caso por el parlante, está conectada al punto común de unión de los dos emisores, a través del condensador de acoplamiento C.

El colector de Q1 (NPN) es positivo y el de Q2 (PNP) negativo con respecto a sus emisores. El circuito así constituido actúa como un amplificador de colector común, formado por dos seguidores de emisor. Cada uno de estos circuitos se caracteriza por tener una impedancia de entrada muy alta y una impedancia de salida muy baja.

Para garantizar la máxima transferencia de potencia entre la salida del circuito y la carga, la impe-



dancia de salida del amplificador debe ser igual a la impedancia del parlante. Si este no es el caso, debe utilizarse entre ambos un transformador de acoplamiento, como se muestra en la figura 228.



Volviendo al circuito original de la figura 227, veamos cómo se produce el efecto "push-pull".

Cuando se aplica una señal de entrada de corriente alterna, los semiciclos positivos polarizan directamente la unión B-E de Q1 e inversamente la unión B-E de Q2. Como consecuencia de esto, Q1 conduce e impulsa ("push") una serie de semiciclos positivos de corriente a través del parlante. Durante estos semiperíodos, Q2 permanece bloqueado.

Durante los semiciclos negativos de la señal de entrada, la unión B-E de Q2 queda polarizada directamente y la unión B-E de Q1 queda polarizada inversamente. Como consecuencia de esto, Q2 conduce y arrastra ("pull") los semiciclos negativos de corriente restantes a través del parlante. Durante estos semiperíodos, Q1 permanece bloqueado.

De este modo, Q1 y Q2 manejan conjuntamente cada ciclo completo de la señal de entrada. En la figura 229 se muestran las formas de onda de las señales involucradas en el proceso.

Note que cada transistor sólo conduce corriente de salida durante un semiciclo de la señal de entrada y se bloquea durante el otro. Sin señal de entrada (condiciones de reposo), las corrientes de base y de colector de ambos transistores son iguales a cero y ninguno de ellos conduce.

La mayor desventaja del amplificador push-pull básico descrito es la *distorsión de cruce* (cross-over) que presenta la señal de salida al pasar por cero. Este fenómeno se debe a que cada transistor sólo comienza a conducir cuando el voltaje de la señal de entrada supera el potencial de barrera de cada unión B-E (0.6V).

## Formas de onda del proceso PUSH-PULL

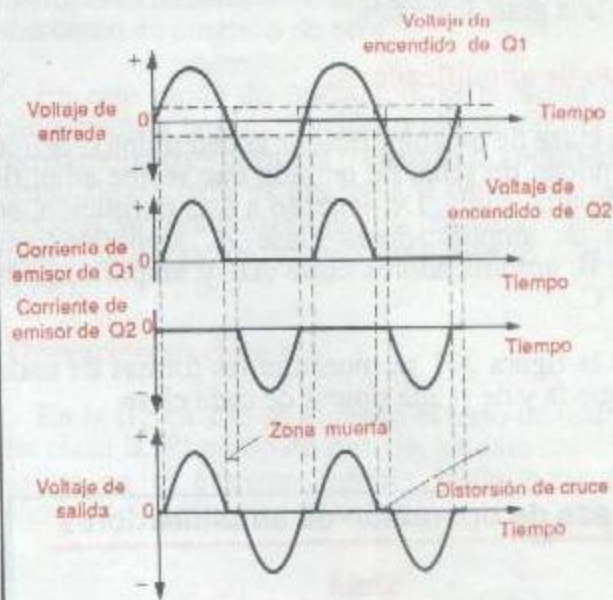
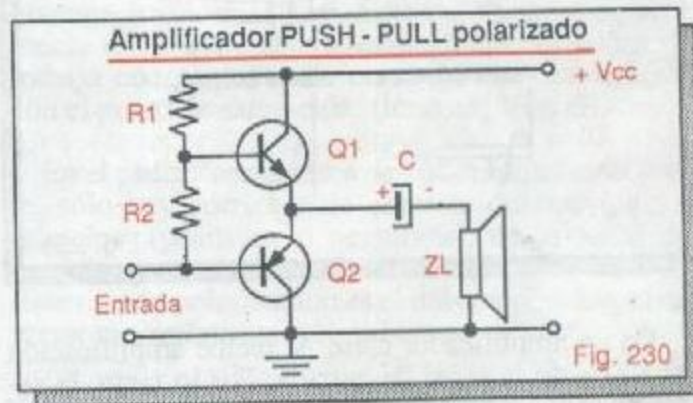


Fig. 229

La distorsión de cruce se puede corregir aplicando una ligera polarización directa a las uniones B-E de ambos transistores, mediante dos resistencias de valores apropiados, como se muestra en la figura 230. En condiciones de reposo (sin señal de entrada) las bases de Q1 y Q2 están  $\pm 0.6V$  por encima de sus emisores.



Si R2 es variable, la distorsión de cruce se puede ajustar a su valor mínimo. En el caso del radio AM CEKIT,  $R1 = 680 \Omega$  y R2 está representada por la resistencia interna de dos diodos 1N4148 en serie. Esto se hace con el fin de proveer, además, estabilidad térmica.

El requisito más importante de un amplificador de potencia push-pull es que Q1 y Q2 sean una pareja complementaria. Esto es, Q1 y Q2 deben tener exactamente las mismas características eléctricas.



De otro modo, cada uno amplificaría de forma diferente el semiciclo que le corresponde y se causaría una gran distorsión.

### Clases de amplificadores.

La **clase** de un amplificador la determina o define la cantidad de señal de entrada que recibe amplificación a la salida. De acuerdo a esta definición, se habla de amplificadores clase **A**, amplificadores clase **B**, amplificadores clase **AB** y amplificadores clase **C**.

En la figura 231 se muestran las formas de onda de entrada y de salida típicas de cada clase.



En un amplificador clase **A**, recibe amplificación el 100% de la señal de entrada. Por lo tanto, la señal de salida está presente durante el ciclo completo de la señal de entrada. (Figura 231A).

En un amplificador clase **B**, recibe amplificación el 50% de la señal de entrada. Por lo tanto, la señal de salida está presente sólo durante los semiciclos positivos o negativos de la señal de entrada. (Figura 231B).

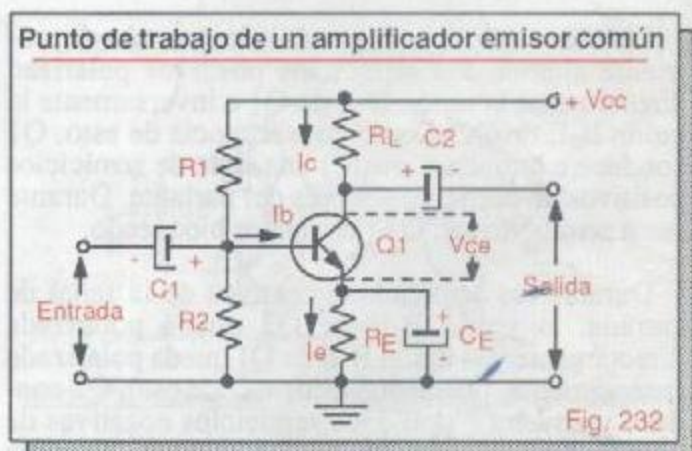
En un amplificador clase **AB**, recibe amplificación más del 50% de la señal de entrada. Por lo tanto, la señal de salida está presente durante más de un semiciclo de la señal de entrada. (Figura 231C).

En un amplificador clase **C**, recibe amplificación menos del 50% de la señal de entrada. Por lo tanto, la señal de salida está presente durante menos de un semiciclo de la señal de entrada. (Figura 231D).

Todos los amplificadores de señal pequeña (y algunos de potencia) operan en clase **A** y todos los de señal grande en clase **B**, **AB** o **C**. Los de clase **A** se caracterizan por su alta fidelidad (baja distorsión) y los de clase **C** por su alto rendimiento de potencia. Los demás, representan un compromiso intermedio entre la fidelidad y el rendimiento.

### Concepto de punto de trabajo

La clase de un amplificador está íntimamente relacionada con la polarización o *punto de trabajo* de la señal de salida, esto es, con el nivel de CC alrededor del cual se desplaza esta última. Para comprender este concepto, consideremos el caso de un amplificador emisor común genérico, como el que se muestra en la figura 232.



Este circuito puede operar como amplificador de voltaje, de corriente o de potencia. La señal de entrada se aplica entre base y tierra a través de  $C1$ . La señal de salida aparece entre colector y tierra y se aplica a la carga mediante  $C2$ .

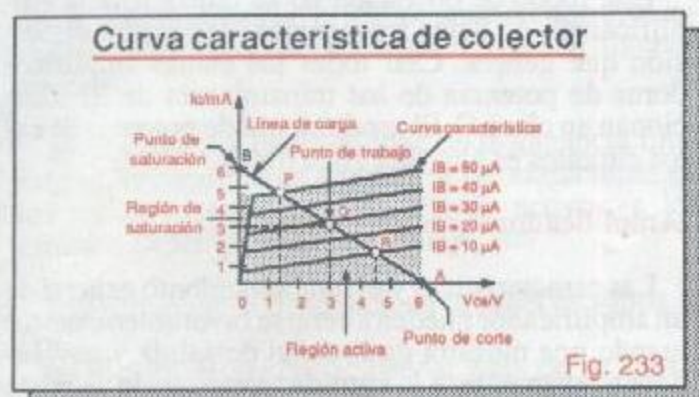
$C1$  y  $C2$  son *condensadores de acoplamiento*. Su objetivo es eliminar el nivel de CC presente en ambas señales y transferir sólo su componente de CA.  $CE$  es el condensador de emisor y su propósito es mantener constante el voltaje sobre  $RE$ , enviando a tierra cualquier variación.

$R1$ ,  $R2$ ,  $RL$  y  $RE$  polarizan correctamente las dos uniones del transistor y fijan el punto de trabajo del amplificador. Este último se refiere a los valores de corriente y de voltaje en el circuito cuando no existe señal de entrada. A estas condiciones se les denomina *estáticas* o de reposo y se identifican mediante el subíndice  $Q$  ( $I_{BQ}$ ,  $I_{CQ}$ ,  $V_{CEQ}$ , etc).



Las condiciones en presencia de señal se denominan *dinámicas*. Los valores de  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $V_{CE}$ , etc., en condiciones dinámicas, varían por encima y por debajo de sus respectivos valores de reposo, dependiendo de la amplitud de la señal de entrada y de la ubicación del punto de trabajo.

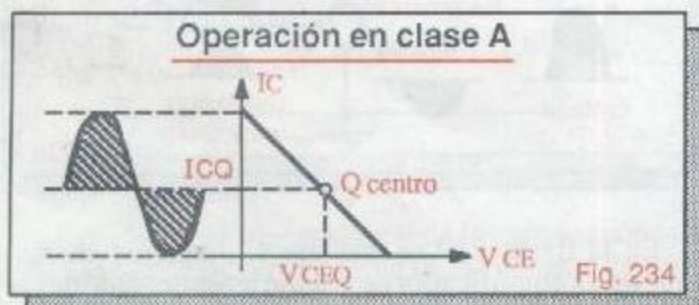
La forma como se comporta  $I_C$  para diferentes valores de  $I_B$  y  $V_{CE}$ , tanto en condiciones dinámicas como estáticas, se puede representar gráficamente mediante un juego de *curvas características* de colector como el que se muestra en la figura 233.



Los puntos extremos de operación definidos por la *recta de carga* se denominan puntos de corte y de saturación, respectivamente. En el punto de saturación o de conducción,  $I_C$  es máxima y  $V_{CE}$  es cero. En el punto de corte o de no conducción,  $I_C$  es cero y  $V_{CE}$  es máximo e igual al voltaje de alimentación ( $V_{CC}$ ).

### Operación en clase A

La posición del punto Q sobre la recta de carga determina la clase de operación (A, B, AB, C) del amplificador. En la figura 234 se muestra el caso de operación en clase A. El punto de trabajo se localiza en el centro de la recta de carga.



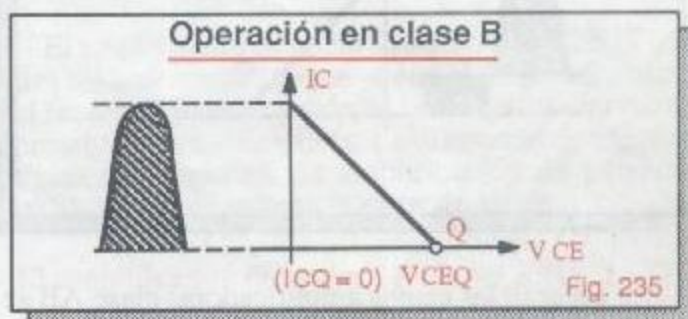
En general, los amplificadores clase A a transistores trabajan dentro de la región activa o tramo lineal de las curvas características de colector.

Además, la etapa está polarizada de tal modo que siempre existe corriente de colector, tanto en presencia como en ausencia de señal.

En este modo de operación, se presenta distorsión cuando la polarización o ubicación del punto de trabajo no es correcta o cuando la amplitud de la señal de entrada es excesiva. Los amplificadores clase A se caracterizan por su baja distorsión, baja potencia de salida y bajo rendimiento (del 20 al 35%).

### Operación en clase B

En la figura 235 se muestra el caso de operación en clase B. El punto de trabajo, en este caso, se localiza en el extremo inferior o de corte ( $I_C=0$ ,  $V_{CE}=V_{CC}$ ) de la recta de carga.



En general, las etapas amplificadoras clase B se polarizan de modo que, sin señal de entrada, se obtenga  $I_C=0$  o  $V_{CE}=0$ . Esto es, trabajan parcialmente en la zona activa, coincidiendo el punto de trabajo con el punto de corte ( $I_C=0$ ,  $V_{CE}=\text{máx}$ ) o con el punto de saturación ( $I_C=\text{máx}$ ,  $V_{CE}=0$ ).

En el primer caso, o sea de polarización en el corte, sólo hay corriente de colector durante los semiciclos, (positivos o negativos), de la señal de entrada que polarizan directamente la unión B-E. Este tipo de polarización es el más empleado y el de mejor rendimiento.

En el segundo caso, o de polarización en saturación, hay una corriente de colector muy intensa en ausencia de señal de entrada. Prácticamente, toda la tensión de alimentación aparece en los extremos de la resistencia de carga.

La tensión colector-emisor experimenta variaciones sólo durante los semiciclos (positivos o negativos) de la señal de entrada que disminuyen la polarización directa de la unión B-E. Este tipo de polarización no es muy empleado.

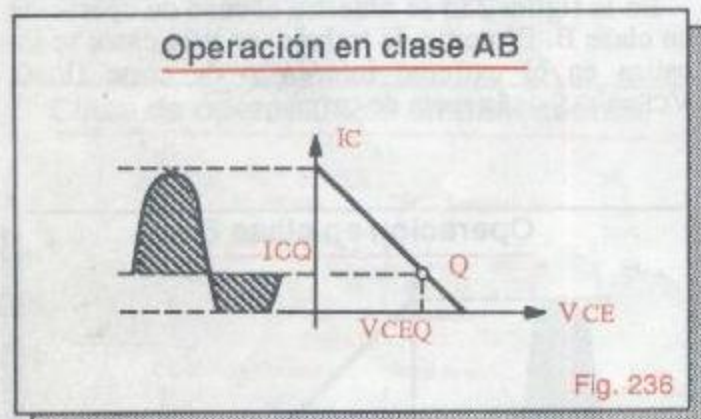
La operación en clase B se utiliza en amplificadores de potencia de baja frecuencia. Se caracteriza



por su buen rendimiento (del 50 al 60%). Utilizando dos amplificadores clase B en contrafase, se pueden amplificar ambos ciclos de la señal de entrada, como sucede en el amplificador push-pull descrito en una sección anterior.

### Operación en clase AB

En la figura 236 se muestra el caso de operación en clase AB. El punto de trabajo, en este caso, se localiza cerca del punto de corte pero podría localizarse también cerca del punto de saturación.



En general, las etapas amplificadoras clase AB se polarizan de modo que, sin señal de entrada,  $I_C$  o  $V_{CE}$  se hagan iguales a cero durante menos de un semiciclo de la señal de entrada.

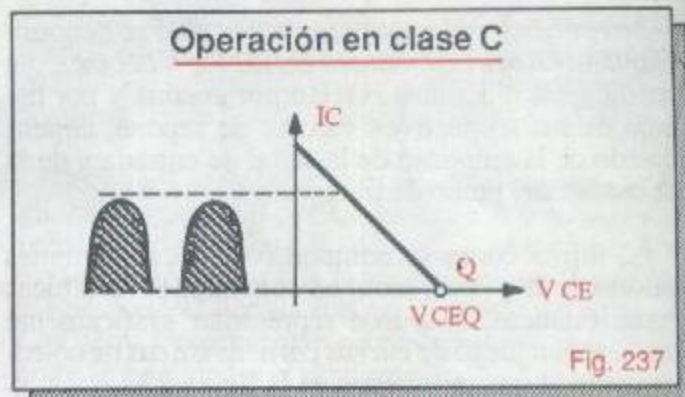
Esto es, los amplificadores clase AB trabajan parcialmente en la zona activa, pero durante mayor tiempo que los de clase B. En los demás aspectos, son similares. Por lo tanto, todo lo dicho anteriormente para clase B es válido también para clase AB. Este modo de operación es el que utiliza el amplificador de potencia del radio AM CEKIT.

Los amplificadores clase AB representan un compromiso intermedio entre la baja distorsión y el bajo rendimiento de los amplificadores clase A y el alto rendimiento y la alta distorsión de los amplificadores clase B.

### Operación en clase C

En la figura 237 se muestra el caso de operación en clase C. El punto de trabajo, en este caso, está localizado más allá del punto de corte pero podría localizarse también más allá del punto de saturación.

En general, las etapas amplificadoras clase C se polarizan de modo que, sin señal de entrada,  $I_C$  o  $V_{CE}$  se hagan iguales a cero durante más de un semiciclo de la señal de entrada.



Este modo de operación no se utiliza para la amplificación de bajas frecuencias, por la alta distorsión que genera. Casi todas las etapas amplificadoras de potencia de los transmisores de RF funcionan en clase C. El rendimiento de potencia de estos circuitos es alto (del 70 al 85%).

### Amplificadores realimentados

Las características y el funcionamiento general de un amplificador pueden alterarse favorablemente tomando una muestra de la señal de salida y enviándola nuevamente a la entrada, junto con la señal de entrada original. A este proceso se le denomina *realimentación* o *feedback*.

La realimentación es *positiva* cuando la señal retornada está en fase con la señal de entrada y *negativa* cuando está fuera de fase. En el primer caso, las dos señales se suman y en el segundo se restan. Ambas situaciones se ilustran en la figura 238. La realimentación positiva debe evitarse porque produce inestabilidad y oscilaciones.



En la figura 239 se muestra el diagrama en bloque de un amplificador de voltaje realimentado negativamente. Sin realimentación, la ganancia de voltaje del circuito es  $A$  y con realimentación es  $A_0$ .

La ganancia con realimentación,  $A_0$ , es siempre inferior a la ganancia sin realimentación,  $A$ . A pesar



### Amplificador de voltaje realimentado



Fig. 239

de reducir la ganancia, la realimentación negativa introduce varios efectos deseables. Estos son algunos de ellos:

- Incrementa la estabilidad de la ganancia final esto es, la hace menos sensible a las variaciones en los parámetros de los dispositivos activos, a los cambios de temperatura, de voltaje, etc.
- Disminuye la distorsión en la señal de salida.
- Mejora el ancho de banda, esto es, se puede amplificar un rango más amplio de frecuencias con la misma ganancia.
- Se pueden ajustar las impedancias de entrada y de salida a cualquier valor deseable.

En la figura 240 se muestra un ejemplo de amplificador realimentado con transistor NPN. El circuito utiliza realimentación negativa de voltaje. Esta última se realiza a través de  $R_B$ .

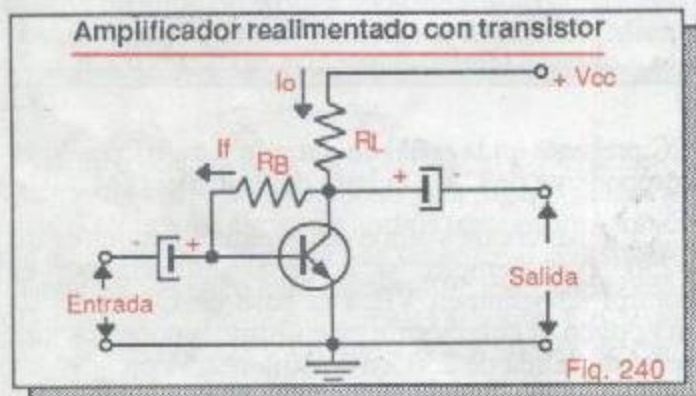


Fig. 240

$I_o$  es la componente alterna de la corriente de salida e  $I_f$  la componente alterna de la corriente de realimentación. Esta última se superpone a la corriente de polarización directa de la base.

En la figura 241 se muestra un ejemplo de amplificador realimentado con JFET canal N. El circuito utiliza realimentación negativa de corriente.

### Amplificador realimentado con FET

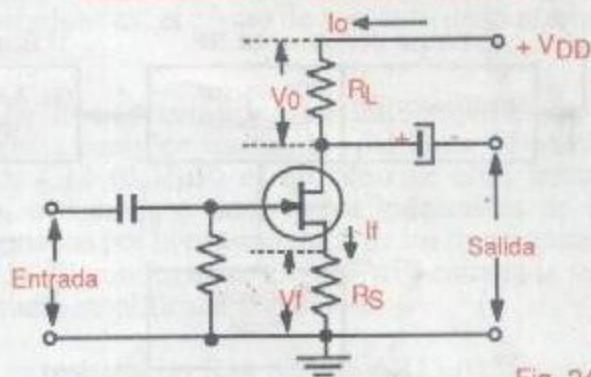


Fig. 241

Esta última se realiza a través de  $R_s$ .  $V_o$  es la componente alterna del voltaje de salida y  $V_f$  la componente alterna del voltaje de realimentación.

El amplificador de audio del radio AM CEKIT utiliza realimentación negativa con el fin de minimizar el fenómeno de distorsión de cruce (cross-over) que presenta la señal de salida. La distorsión de cruce es típica del esquema de amplificación de potencia (push-pull) utilizado en la etapa de salida.

### El amplificador de audio del Radio AM CEKIT

El radio AM CEKIT utiliza amplificadores de RF en las etapas de conversión y de FI o frecuencia intermedia, y amplificadores de audio en su etapa final. El diagrama simplificado de bloques del sistema se muestra en la figura 242. La forma como se procesan las diferentes señales se explicará en lecciones posteriores.

En la figura 243 se muestra un diagrama en bloques del amplificador de audio utilizado por el radio AM CEKIT. Consta básicamente de dos etapas: un preamplificador y un amplificador de potencia.

El preamplificador es un amplificador de voltaje de señal pequeña que recibe la débil señal de audio proveniente del detector y la levanta a un nivel suficientemente alto como para excitar el parlante de la etapa de potencia. En este último, las variaciones de corriente se convierten en sonidos.

Otra función del preamplificador es la de reducir el nivel de ruido de la señal de entrada y minimizar la distorsión de la señal de salida. Esto gracias a la existencia de realimentación negativa entre la entrada y la salida del sistema completo.

El amplificador de potencia es un amplificador de señal grande push-pull que recibe la señal proveniente del preamplificador y la convierte en una señal lo suficientemente fuerte como para impulsar el



## Diagrama de bloques del radio AM CEKIT



Fig. 242

## Diagrama de bloques del amplificador de audio

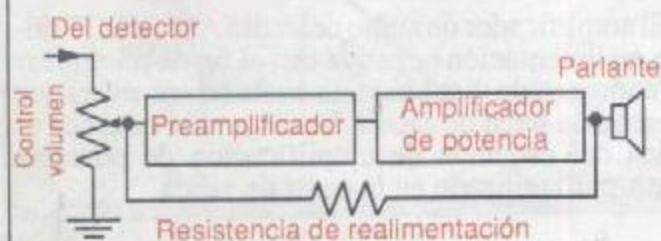


Fig. 243

parlante y convertir así la información eléctrica de audio en información sonora.

En la figura 244 se muestra el diagrama esquemático completo de nuestro amplificador de audio.

Se han delimitado las áreas correspondientes al preamplificador y al amplificador de potencia para mayor claridad.

La descripción de cada etapa se realiza en las siguientes secciones.

### Operación del preamplificador

El preamplificador de audio del radio AM CEKIT es clase A y responde a la configuración emisor común. El elemento activo de esta etapa es el transistor Q4 (NPN, 2SC1390 o su reemplazo, el C829).

El preamplificador recibe, a través del condensador C11, una señal de audio, de 0 a 500 mVpp de amplitud. Esta señal es entregada por el potenciómetro VR (control de volumen) y éste, a su vez, la recibe del detector. (Vpp=Voltios pico a pico).

El condensador C11, de 10µF, actúa como condensador de acoplamiento, bloqueando el nivel de

## Diagrama esquemático del amplificador de audio

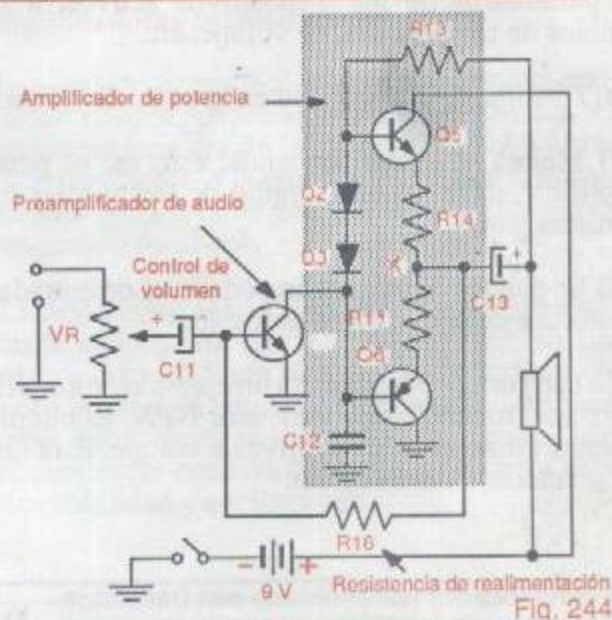


Fig. 244

CC presente en la señal de entrada y transfiriendo la componente de CA a la base del transistor Q4.

La ganancia de voltaje del preamplificador es de  $\approx 250$ . Por ejemplo, si la señal aplicada por el control de volumen VR a la base de Q4 es de 10 mVpp, en el colector de este último tendremos una señal de salida de  $250 \times 10\text{mVpp} = 2.5\text{Vpp}$ .

La tensión de polarización directa de la unión B-E de Q4, se obtiene de los semiciclos positivos de la señal de salida, (punto X), a través de R16 (150 KΩ).

La tensión de colector de Q4 se obtiene del polo positivo de la batería a través del parlante, R13 (680 Ω) y los diodos D1 y D2 (1N41480), polarizados en directo. (2) (3)



Además de actuar como resistencia de polarización de base, R16 actúa también como resistencia de realimentación, enviando parte de la señal de salida del amplificador de potencia a la entrada del preamplificador.

Esta realimentación negativa tiene por objeto minimizar la distorsión de la etapa.

R13 es la resistencia de carga de Q4, pero cumple también la función de polarizar directamente la base de Q5 (NPN 2SC735 ó C1959 ó C828) en el amplificador de potencia. A su vez, D<sub>2</sub> y D<sub>3</sub> proporcionan el voltaje de polarización directo de Q6 (PNP, 2SCA1048G ó 2SA1015 ó A564) y proveen estabilidad térmica.

### Operación del amplificador de potencia

El amplificador de potencia del radio AM CEKIT es del tipo colector común, clase AB y responde a la configuración push-pull o de simetría complementaria, explicada en una sección anterior. Los elementos activos de esta etapa son Q5 (NPN) y Q6 (PNP).

Cada uno de estos transistores actúa como un seguidor de emisor, presentando una alta impedancia de entrada a la señal proveniente del preamplificador y una baja impedancia de salida al parlante.

El resultado es una máxima transferencia de voltaje a la entrada y una máxima transferencia de potencia a la salida.

Cada transistor conduce sólo durante un semiciclo de la señal de entrada. En particular, Q5 suministra corriente de emisor durante los semiperíodos positivos y Q6 lo hace durante los negativos. Mientras Q5 conduce, Q6 está parcialmente cortado y viceversa.

La resistencia R13, de 680  $\Omega$  y D<sub>2</sub>-D<sub>3</sub> referencia 1N4148, proporcionan una ligera polarización directa a las bases de ambos transistores con el fin de minimizar la distorsión de cruce o *crossover*, tal como se explicó para los amplificadores de potencia push-pull. En particular, R13 aplica 5.6 V de CC a la base de Q5 y D<sub>2</sub>-D<sub>3</sub> 4.2 V a la base de Q6.

Esto último es así porque a través de cada uno de estos diodos se presenta una caída de 0.7 V (4.2V=5.6V-1.4V). D<sub>2</sub> y D<sub>3</sub> proveen también la estabilización térmica de la etapa de salida.

Al aumentar la temperatura ambiental, las corrientes de colector-emisor de Q5 y Q6 tienden a aumentar, debido a que también aumentan las corrientes de fuga de las uniones B-C y B-E de los mismos.

El aumento de temperatura, a su vez, reduce la resistencia interna de ambos diodos. Esto reduce el voltaje de polarización y la corriente de base, contrarrestándose así el efecto de aumento de la corriente de colector.

Los demás componentes del amplificador de potencia cumplen funciones auxiliares. El condensador C12 (0.03 $\mu$ F) es un filtro de altas frecuencias, que envía a tierra picos indeseables de RF, originados por la conmutación de los transistores de salida. El condensador C13 (47 $\mu$ F) entrega la señal de audio amplificada al parlante.

Las resistencias R14 (0.5 $\Omega$ ) y R15 (0.5 $\Omega$ ) actúan como resistencias de emisor de Q5 y Q6, respectivamente. Su objetivo es mantener estable la polarización directa de ambos transistores. La resistencia R16 (150K $\Omega$ ) actúa como resistencia de realimentación. Su propósito es minimizar la distorsión en la señal de salida.

La etapa de salida está diseñada para garantizar máxima transferencia de potencia cuando se utiliza como carga nominal un parlante de 8 $\Omega$ . Si se utiliza un parlante de otra impedancia, debe utilizarse un transformador de acoplamiento. Con un parlante de 8 $\Omega$ , la máxima potencia de salida del amplificador de audio es de  $\approx 1.25$ W.

### Nota:

La máxima potencia de salida que puede extraerse de un amplificador push-pull como el utilizado por el radio AM CEKIT se evalúa mediante la siguiente fórmula:

$$P_{MAX} = \frac{V^2_{cc}}{8 Z_L}$$

V<sub>cc</sub> es el voltaje de la fuente de alimentación y Z<sub>L</sub> la impedancia del parlante. En nuestro caso, V<sub>cc</sub>=9V y Z<sub>L</sub>=8  $\Omega$ . Por lo tanto, la máxima potencia de salida del mismo, en vatios, es:

$$P_{MAX} = \frac{9^2}{8 \times 8} W = \frac{81}{64} W = 1.26 W$$

Si se reduce el voltaje de alimentación a 6V por ejemplo, la potencia de salida máxima desciende a  $\approx 0.5$ W. Si en vez de un parlante de 8 $\Omega$  se utiliza uno de 40 $\Omega$ , esta potencia sería sólo de 0.25W.



## Actividad práctica Nº 10

### Construcción de un inyector de señales

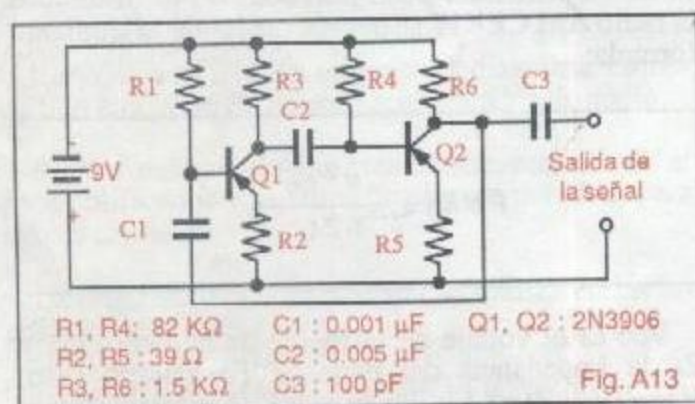
En esta actividad daremos todas las instrucciones necesarias para la construcción de un instrumento muy sencillo pero muy útil para la prueba y reparación de los aparatos de radio, el inyector de señales.

Como lo habíamos mencionado, el inyector de señales produce un tren de ondas que se puede inyectar o introducir a un amplificador de audio o de radiofrecuencia para comprobar su funcionamiento.

De esta manera podemos verificar si lo hemos ensamblado bien o si hay algún componente defectuoso o también podemos reparar aparatos de radio o amplificadores de sonido con él.

Con unos pocos componentes ya muy conocidos, como resistencias, condensadores y transistores se forma el circuito inyector de señales, que es un *oscilador* o sea un generador de ondas. El tema completo de los osciladores se tratará próximamente en este curso.

El circuito completo para el inyector de señales se muestra en la figura A13.



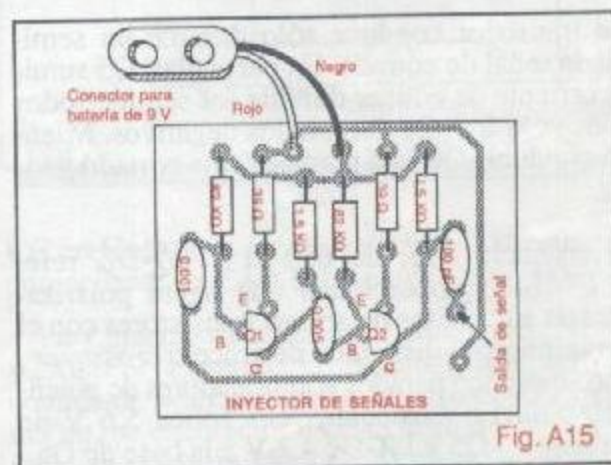
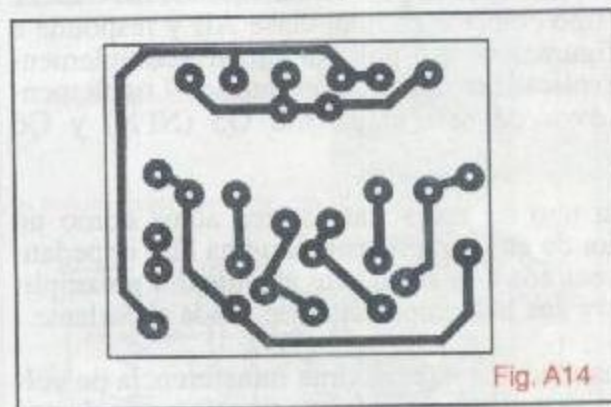
Este circuito se puede ensamblar en un circuito impreso cuyo dibujo reproducimos en la figura A14 e instalando sus componentes como se indica en la figura A15. El circuito impreso se puede fabricar utilizando el Kit 550 de CEKIT que incluye la lámina de baquelita cobrizada, el lapicero especial y el ácido para rebajar el cobre.

Para fabricar el inyector de señales debe conseguir los materiales que se detallan en la siguiente lista.

### Lista de materiales

- 2 Transistores PNP 2N3906
- 1 Condensador de cerámica de 0.001  $\mu$ F
- 1 Condensador de cerámica de 0.005  $\mu$ F
- 1 Condensador de cerámica de 100 pF
- 2 Resistencias de 82 K $\Omega$  1/2 W
- 2 Resistencias de 39  $\Omega$  1/2 W
- 2 Resistencias de 1.5 K $\Omega$  1/2 W
- 1 Conector para batería de 9 voltios
- 1 Circuito impreso CEKIT K13

Todos estos materiales, incluyendo el circuito impreso y un completo manual de instrucciones se encuentran en el Kit K13 de CEKIT.



Para darle una mejor presentación y funcionalidad a este circuito, lo podemos alojar en una caja pequeña de metal o plástico y alimentarlo por medio de pilas o una batería de 9 voltios. En sus terminales de salida deben ir los cables para conectar la señal a los circuitos. Un cable con caimán para la tierra y una punta de prueba para la salida.



## Cómo se produce la señal de una emisora

### Fuentes de señal, osciladores y modulación

Hemos visto en la introducción de este curso, que un transmisor de radio mezcla una señal de alta frecuencia, o radiofrecuencia (RF), con una señal de baja frecuencia o audiofrecuencia (BF o AF) produciendo una señal *modulada* que se emite por la antena.

### Qué es y cómo trabaja una emisora de radio

Con el fin de poder entender mas fácilmente cómo trabaja un receptor de radio, vamos a explicar qué es y cómo trabaja una emisora de radio.

En otras palabras, vamos a estudiar cómo se captan los sonidos de las palabras y la música en una emisora, cómo se convierten en corriente eléctrica para llevarlos a aparatos electrónicos y cómo estos aparatos producen las ondas electromagnéticas que pueden viajar por el espacio.

En la figura 245 podemos observar la estructura general de una emisora de radio.

### Fuentes de señales de audio

Las principales fuentes de sonido o audio que se encuentran en las emisoras de radio son: los micrófonos, los tocadiscos (de Long Play y Compact

Disc) y las grabadoras de cinta magnética (Cassete o Rollo).

Las palabras de los locutores son recogidas por uno o varios micrófonos, la música es captada por los tocadiscos o las grabadoras y los avisos comerciales pueden ser originados en forma directa por un locutor o estar grabadas en cintas.

### Los micrófonos

Un micrófono es un dispositivo que convierte ondas sonoras (voz, música, lenguaje, etc.) en señales eléctricas de voltaje o de corriente equivalentes.

Se ha determinado experimentalmente que las frecuencias de la voz humana están comprendidas principalmente en el rango de 300 a 3500 Hz.

### Características generales de los micrófonos

Los micrófonos poseen ciertas características básicas que determinan su calidad. Las más importantes son la respuesta de frecuencia, la direccionalidad, la impedancia, la sensibilidad y la inmunidad al ruido.

La *respuesta de frecuencia* de un micrófono es el ancho de banda dentro del cuál responde sin distorsión a las ondas de sonido.

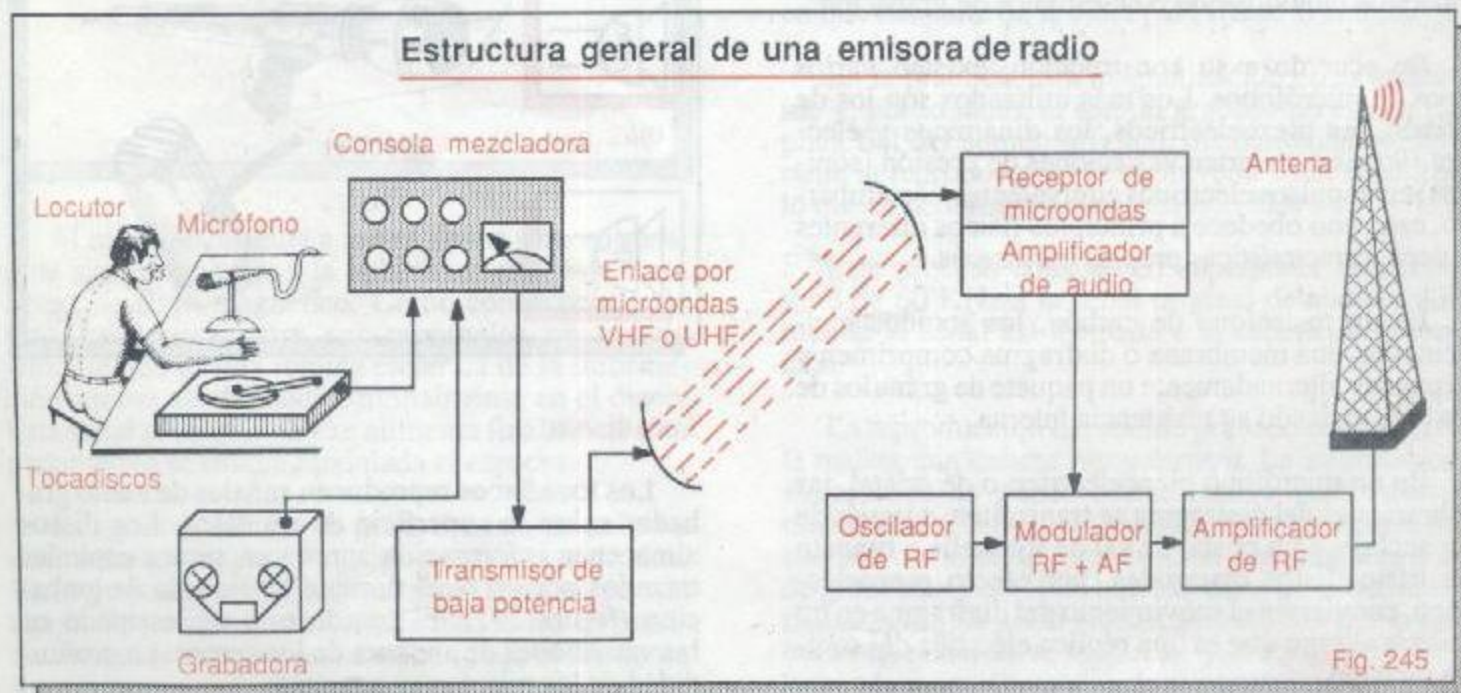


Fig. 245



La *direccionalidad* se refiere a la habilidad de un micrófono para captar sonidos provenientes de una u otra dirección. De acuerdo a su direccionalidad, los micrófonos se clasifican en omnidireccionales, bidireccionales y unidireccionales.

Los micrófonos omnidireccionales o panorámicos captan sonidos en todas las direcciones. Los bidireccionales captan sonidos en direcciones opuestas. Los unidireccionales o *cardioides* captan exclusivamente sonidos en una dirección.

La *impedancia* ( $Z$ ) de un micrófono es el efecto de carga que éste le presenta al circuito que recibe la señal generada entre sus terminales. Existen micrófonos de alta impedancia y de baja impedancia. La impedancia de los primeros fluctúa típicamente entre 100 K $\Omega$  y 500 K $\Omega$  y la de los segundos puede ser de 50 $\Omega$ , 150 $\Omega$  ó 600  $\Omega$ .

La *sensibilidad* de un micrófono se especifica como el nivel de señal eléctrica que se obtiene del mismo bajo determinadas condiciones de referencia. La sensibilidad se expresa en voltios, vatios o dB y varía con la intensidad del sonido y la distancia de la fuente sonora.

### Tipos de micrófonos

De acuerdo a su aplicación, los micrófonos pueden ser vocales, de uso general y profesionales. Los vocales reproducen frecuencias entre 150 y 4000 Hz y se utilizan en telefonía.

Los de uso general reproducen frecuencias entre 50 y 7500 Hz y se emplean en instalaciones de amplificación. Los profesionales reproducen frecuencias entre 20 y 20000 Hz y se utilizan en estaciones de radiodifusión o en estudios de grabación.

De acuerdo a su construcción, existen varios tipos de micrófonos. Los más utilizados son los de carbón, los piezoeléctricos, los dinámicos y electret. Todos convierten variaciones de presión (sonidos) en impulsos eléctricos equivalentes. Sin embargo, cada uno obedece a principios físicos diferentes y tiene características propias intrínsecas.

En un micrófono de carbón, los sonidos incidentes en una membrana o diafragma comprimen y expanden alternadamente un paquete de granulos de carbón, variando su resistencia interna.

En un micrófono piezoeléctrico o de cristal, las vibraciones del diafragma se transmiten, a través de un anclaje, a un cristal de sal de Rochelle o titanato de bario. Estos materiales, por efecto piezoeléctrico, convierten el movimiento del diafragma en un voltaje alterno que es una réplica eléctrica del sonido recibido.

En un micrófono dinámico, las vibraciones del diafragma desplazan alternativamente una bobina liviana a través de un campo magnético estacionario, generando un voltaje variable entre sus terminales.

En un micrófono electret, las variaciones de presión del aire, producidas por el sonido incidente, cambian alternativamente la distancia entre dos placas cargadas eléctricamente de fábrica, alterando la capacitancia entre ellas y produciendo en los terminales del elemento un voltaje variable.

En la figura 246, se pueden observar los diferentes tipos de micrófonos y sus símbolos utilizados en los diagramas.

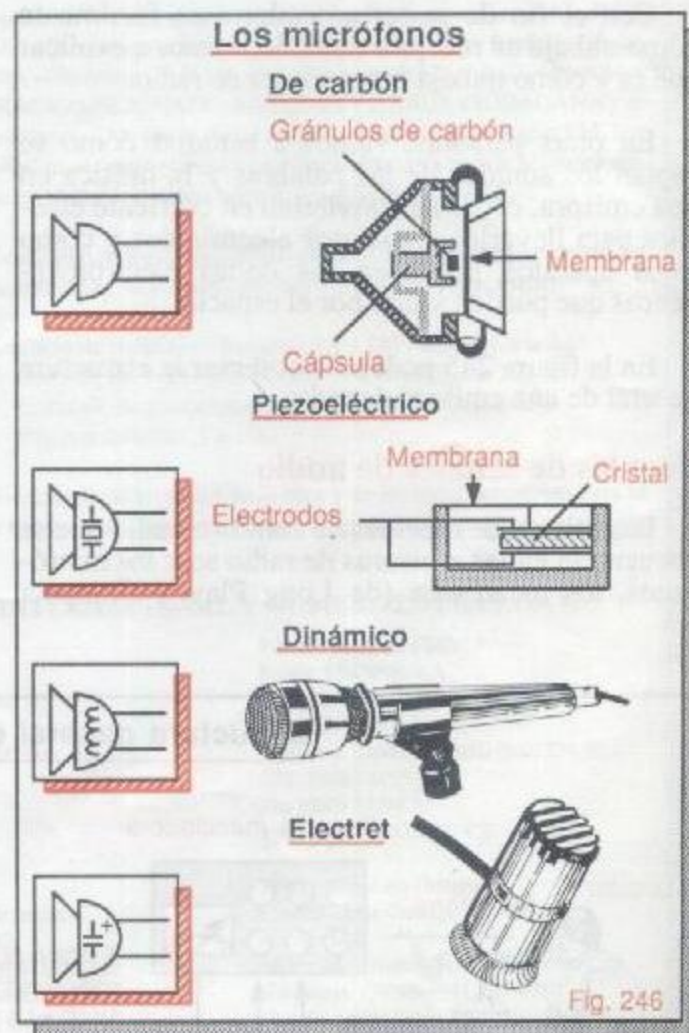


Fig. 246

### Tocadiscos

Los tocadiscos reproducen señales de audio grabadas sobre la superficie de un disco. Los discos almacenan información sonora en surcos espirales trazados por un buril durante el proceso de grabación (figura 247). El sonido está representado en las variaciones de anchura de los surcos. La profundidad de los mismos es constante.



### Surcos de un disco

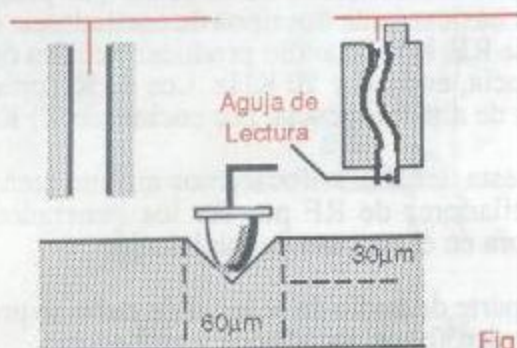


Fig. 247

La lectura de la señal grabada en un disco la realiza un dispositivo llamado pick up o cartucho que lleva una aguja en su extremo y un transductor magnético o piezoeléctrico en su interior.

La aguja recorre los surcos y transmite las vibraciones detectadas al transductor, el cual las convierte en señales eléctricas, equivalentes al sonido originalmente grabado. En la figura 248 se muestra el aspecto de un cartucho magnético.

### Cartucho magnético de tocadiscos

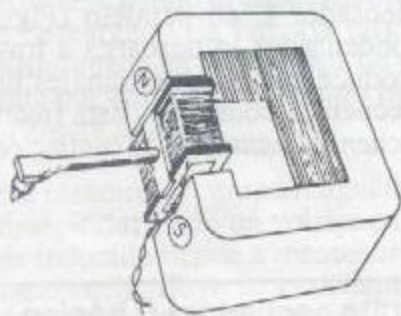


Fig. 248

Al moverse la aguja a través de los surcos, transmite sus vibraciones a la bobina móvil y ésta corta líneas de flujo magnético. Como consecuencia de esto, se genera entre sus terminales un voltaje variable que es una réplica eléctrica de la información sonora almacenada originalmente en el disco. Esta señal se amplifica y se alimenta finalmente a un parlante y/o se irradia modulada al espacio.

La aguja de lectura es generalmente de zafiro o de diamante y su punta puede ser esférica o elíptica. Estos tipos de perfil y sus variantes le permiten a la aguja seguir con la máxima facilidad las tortuosidades de los surcos y evitan que toque el fondo de los mismos.

### Grabadoras de sonido

El sonido se graba en cintas plásticas recubiertas con finas partículas de óxido de hierro ( $\text{FeO}$ ) o de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}$ ). Cada partícula contiene miles de pequeños imanes, cada uno de los cuales posee un polo norte y un polo sur. Normalmente, estos polos están al azar pero, bajo la influencia de un campo magnético externo, se puede lograr que apunten en una dirección determinada (alineamiento).

En la figura 249 se ilustra el principio básico de grabación del sonido. Cuando la señal de audio proveniente del micrófono se aplica a los devanados de la cabeza de grabación, se genera un campo magnético variable en el entrehierro de la misma.

### Principio de grabación del sonido



Fig. 249

A medida que pasa la cinta, sus partículas se magnetizan, creándose sobre ella un patrón magnético equivalente al sonido original. La intensidad de la magnetización en cualquier parte de la cinta depende del valor de la señal de audio en el momento en que esa parte de la cinta pasa frente al entrehierro.

En la práctica, esta magnetización no es uniforme y, por lo tanto, el sonido grabado no es una réplica fiel del sonido original, distorsionándose durante la reproducción. Para prevenir esto, se utiliza lo que se denomina *polarización* o *bias ac*.

Este proceso consiste en superponer una onda seno de 60 KHz a la señal original de audio y alimentar la señal así formada a la cabeza de grabación.

La reproducción del sonido grabado en una cinta la realiza una *cabeza reproductora*. La información almacenada se puede borrar total o parcialmente mediante una *cabeza de borrado*. Tanto la cabeza de borrado como la de reproducción son similares a la de grabación pero la de borrado tiene un entrehierro más amplio. La señal eléctrica producida por la cabeza reproductora se amplifica y se envía a un parlante y/o se irradia modulada al espacio.

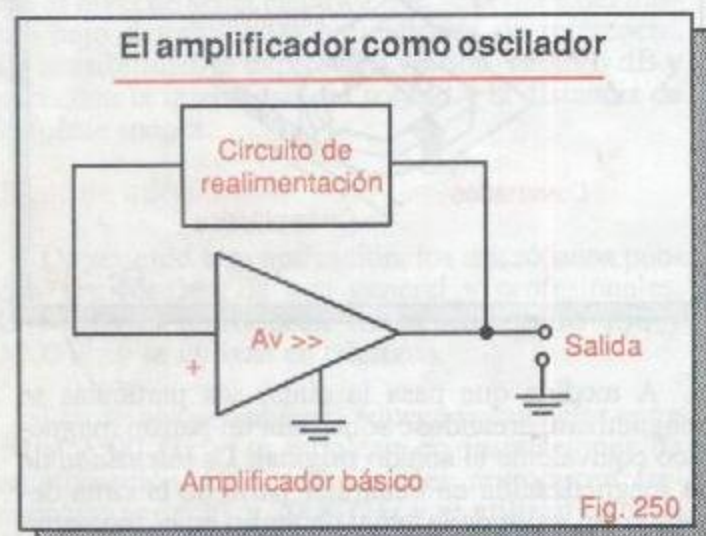


### Teoría Básica. Qué es un oscilador

Como ya lo hemos mencionado, los circuitos osciladores se encuentran presentes en todos los aparatos de radio y televisión, tanto receptores como transmisores.

Un oscilador, es un circuito que genera por sí mismo una señal alterna de voltaje o de corriente, generalmente sinusoidal y de una frecuencia y amplitud específicas.

Se trata, en realidad, de un tipo especial de amplificador, caracterizado por tener una ganancia muy alta y por estar realimentado positivamente. (Figura 250).



Esto es, en un oscilador, el transistor o dispositivo activo usado amplifica la señal aplicada a su entrada como lo hace cualquier amplificador.

La diferencia está en que, en un oscilador, una parte de la señal de salida se realimenta a la entrada del amplificador, sumándose en fase con la señal aplicada.

### Elementos que determinan la frecuencia de oscilación

El elemento activo o principal en un oscilador puede ser una válvula o tubo de vacío, un transistor, un FET o un circuito integrado.

La frecuencia de oscilación la determinan componentes pasivos como resistencias, condensadores, bobinas, cristales, diodos, etc. situados en el camino de realimentación.

### Tipos de osciladores

Según la frecuencia de la señal que producen, existen básicamente dos tipos de osciladores: de audio y de RF. Los de audio producen señales de baja frecuencia, entre 0 y 20 KHz. Los de RF producen señales de alta frecuencia, por encima de 20 KHz.

En esta lección enfocaremos nuestra atención a los osciladores de RF por ser los generadores de portadora en el proceso de modulación.

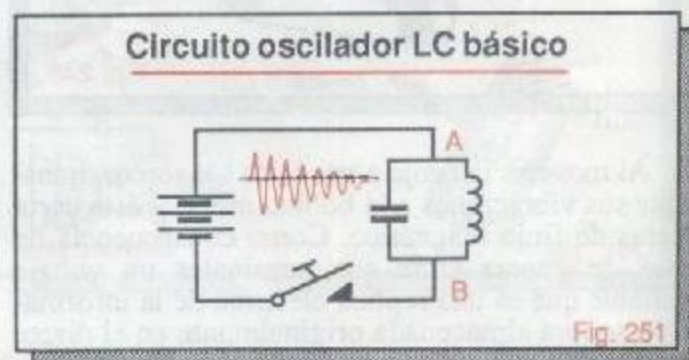
La parte de audio de la señal de radio se produce en los micrófonos, tocadiscos y grabadoras.

Los osciladores de RF son, en su mayoría, del tipo LC, esto es, utilizan bobinas y condensadores como elementos determinantes de la frecuencia de oscilación. En muchos casos, estos elementos reactivos se simulan mediante cristales de cuarzo, logrando una mayor estabilidad en la frecuencia de la señal generada.

De acuerdo a su configuración, los osciladores de RF más conocidos son los tipos Colpitts, Clapp, Hartley y Pierce. De ellos nos ocuparemos en esta lección.

### Circuito resonante LC como oscilador

El oscilador más elemental es el circuito resonante LC, formado por la asociación de una bobina L y un condensador C en paralelo (Figura 251). Cuando el condensador se descarga a través de la bobina, se produce entre sus terminales un voltaje alterno, de frecuencia constante. Esta frecuencia se denomina *frecuencia natural* o de oscilación del circuito.



El circuito LC mostrado, llamado también circuito tanque, con algunas variantes, es la base de los osciladores Hartley, Colpitts y otras configuraciones prácticas que se estudiarán más adelante. Su mayor ventaja radica en que se puede controlar la frecuencia de oscilación, variando el valor de sus componentes.



## Ciclo de oscilación de un tanque LC

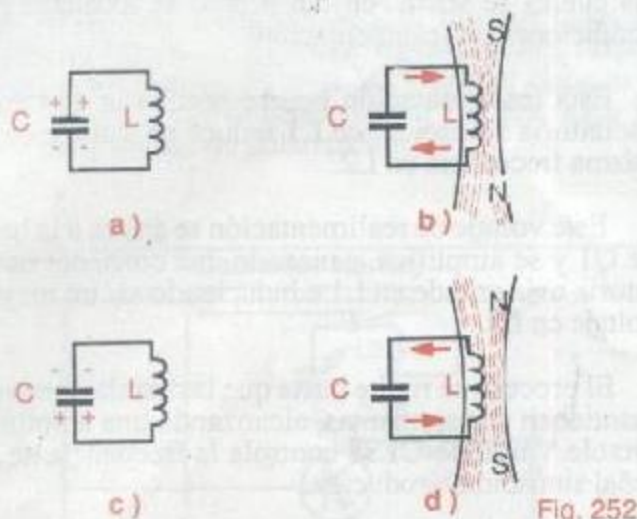


Fig. 252

En la figura 252 se ilustra gráficamente todo el proceso de oscilación de un circuito LC. A medida que el condensador comienza a descargarse, fluye una corriente a través del circuito y se crea un campo magnético variable, el cual induce un voltaje en la bobina. Este voltaje se opone a la corriente, retardando la descarga. (Figura 252a).

Entre mayor sea el valor de L, más tiempo toma esta descarga. Cuando el condensador está completamente descargado, la energía eléctrica originalmente almacenada en él en forma de voltaje ha sido transferida por completo al campo magnético de la bobina. (Figura 252b).

En ese instante, el campo magnético comienza a extinguirse, induciendo un voltaje en la bobina. Este voltaje inducido tiende a mantener el campo. Como consecuencia, fluye una corriente en la misma dirección anterior y el condensador se carga de tal modo que la placa inferior es positiva y la superior negativa.

Una vez que el campo magnético se ha extinguido por completo, la energía se almacena de nuevo en el condensador, en forma de voltaje (Figura 252c).

El condensador comienza entonces a descargarse a través de la bobina, pero la corriente ahora fluye en la dirección opuesta, creando un campo magnético de polaridad contraria al original. (Figura 252d).

Cuando este campo se ha extinguido por completo, el condensador se ha cargado de nuevo con su placa superior positiva, tal como lo estaba al comienzo del proceso. El ciclo se repite.

El resultado neto de esta operación ha sido la producción, por parte del circuito, de una oscilación eléctrica, esto es, de un ciclo de CA que se repite periódicamente a la frecuencia natural de resonancia del tanque LC.

La secuencia descrita anteriormente se repite varias veces, pero la energía se pierde gradualmente en el circuito, en forma de calor y de radiación, debido a la naturaleza no ideal de los componentes involucrados.

Como resultado, las oscilaciones que se producen son amortiguadas, esto es, disminuyen progresivamente de amplitud y al cabo de un tiempo desaparecen. Su forma de onda se muestra en la figura 253.

## Oscilaciones amortiguadas

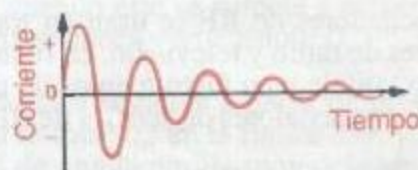


Fig. 253

Este sistema eléctrico, se puede comparar con el sistema mecánico de un péndulo. Este se mueve de un lado a otro, creando una oscilación o movimiento, pero el movimiento va perdiendo energía hasta que el péndulo se para totalmente. Para que un péndulo se mueva continuamente hay que suministrarle energía durante períodos fijos de tiempo.

Se puede demostrar matemáticamente que la frecuencia de oscilación, en Hz, de este circuito está dada por:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

L está en Henrios y C en Faradios. Para generar oscilaciones de RF, L y C deben ser pequeñas. Por ejemplo, si  $L=100\mu\text{H}$  y  $C=100\text{pF}$ , entonces  $f = 1.6 \text{ MHz}$ .

Para obtener oscilaciones no amortiguadas, de amplitud constante, como se muestra en la figura 254, debe alimentarse continuamente energía en el circuito LC, en la cantidad correcta y en el instante preciso.



## Oscilaciones sostenidas

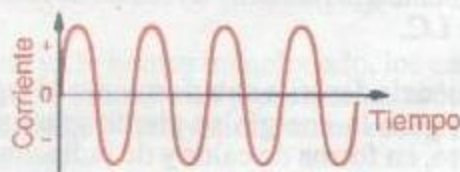


Fig. 254

De este modo, se recuperan las pérdidas que son inevitables en este tipo de sistemas. Esta reinyección de energía se logra en la práctica mediante un dispositivo activo (por ejemplo, un transistor) asociado a una red pasiva de realimentación.

## Osciladores de Radio-Frecuencia

Los osciladores de RF se usan en transmisores y receptores de radio y televisión, en fuentes de poder de alto voltaje y en instrumentos de prueba, tales como los generadores de señales de RF.

Los osciladores de RF son bloques básicos de todo equipo de radio. La primera etapa de casi todo transmisor es un oscilador de RF. Esta etapa determina la frecuencia particular en la cual va a operar el transmisor. De manera similar, el oscilador de RF utilizado en un receptor superheterodino determina la frecuencia a la cual está sintonizado.

### Oscilador LC práctico de RF

En la figura 255 se muestra el circuito de un oscilador práctico de RF con tanque resonante LC. Se trata básicamente de un amplificador de voltaje, realimentado positivamente, construido alrededor del transistor Q1. R1, R2 y R3 son resistencias de polarización. C2 y C3 son condensadores de desacople de RF. C4 es un condensador de paso.

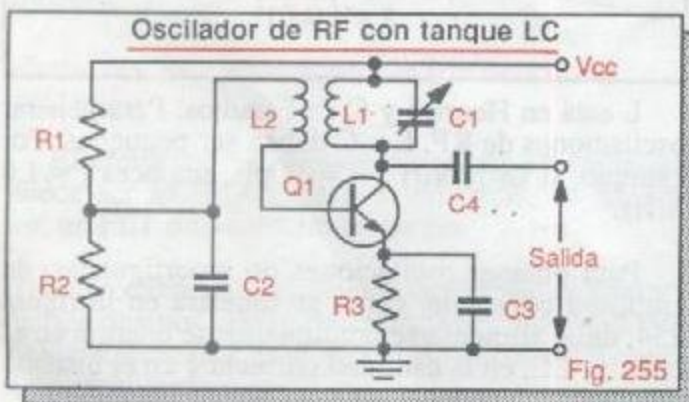


Fig. 255

Al conectar la fuente de alimentación, se produce un pulso de corriente que carga el condensador C1 y origina automáticamente las oscilaciones, las cuales se sostienen tan pronto se alcanzan las condiciones de realimentación.

Esta realimentación ocurre porque la corriente oscilatoria sinusoidal en L1 induce un voltaje de la misma frecuencia en L2.

Este voltaje de realimentación se aplica a la base de Q1 y se amplifica, causando una corriente oscilatoria más grande en L1 e induciendo así un mayor voltaje en L2.

El proceso se repite hasta que las oscilaciones se mantienen por sí mismas, alcanzando una amplitud estable. Variando C1 se controla la frecuencia de la señal sinusoidal producida.

### Osciladores Hartley y Colpitts

En la figura 256 se muestra la configuración general de estos dos populares osciladores de RF. El circuito de realimentación de ambos generadores es similar y lo constituyen las tres impedancias designadas como Z1, Z2 y Z3.

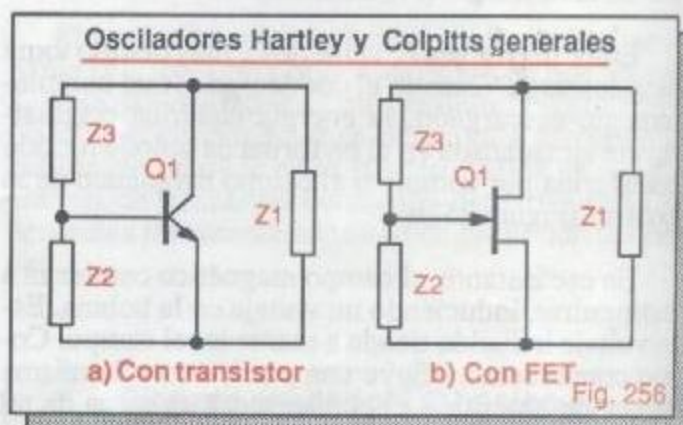


Fig. 256

Se puede demostrar matemáticamente que para obtener realimentación positiva y oscilaciones sinusoidales, Z1 y Z2 deben ser ambas inductivas (o ambas capacitivas) y Z3 debe ser capacitiva (o inductiva).

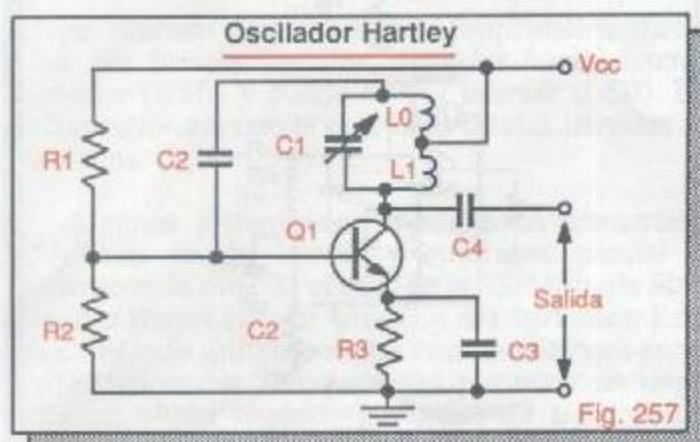
El oscilador de RF utilizado en el radio AM CEKIT es del tipo Hartley. En este caso, la bobina osciladora L2 ("roja") provee las impedancias Z1 y Z2. La impedancia Z3 está representada por la asociación en paralelo de los condensadores VC2 (variable) y TC2 (trimmer).

Este último provee ajuste fino de frecuencia. La frecuencia de oscilación se puede variar entre 980 KHz y 2100 KHz, aproximadamente.



## Oscilador Hartley

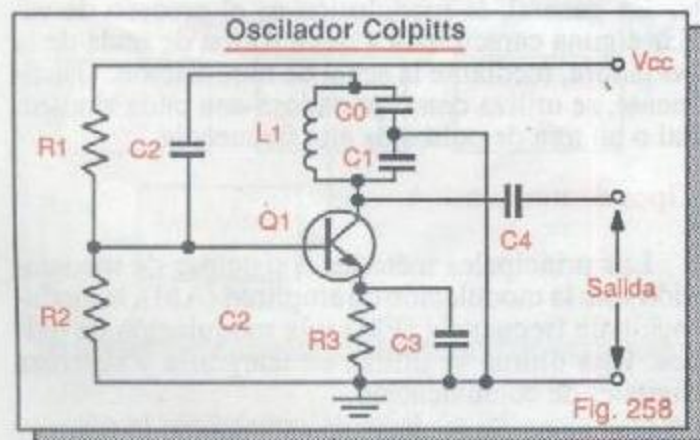
En la figura 257 se muestra el circuito práctico de un oscilador Hartley de RF. En este caso, las impedancias  $Z_1$  y  $Z_2$  están representadas, respectivamente, por las bobinas  $L_0$  y  $L_1$  del circuito de sintonía y  $Z_3$  por el condensador  $C_1$ .  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$  son resistencias de polarización.



$C_2$  y  $C_4$  son condensadores de paso y  $C_3$  un condensador de desacople. Se supone que  $C_2$ ,  $C_3$  y  $C_4$  presentan una reactancia despreciable a la frecuencia de oscilación.

## Oscilador Colpitts.

En la figura 258 se muestra el circuito práctico de un oscilador Colpitts. En este caso, las impedancias  $Z_1$  y  $Z_2$  están representadas, respectivamente, por los condensadores  $C_0$  y  $C_1$  del circuito de sintonía y  $Z_3$  por la bobina  $L_1$ .  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$  son resistencias de polarización.



$C_2$  y  $C_4$  son condensadores de paso y  $C_3$  un condensador de desacople. Tanto  $C_2$  y  $C_4$  como  $C_3$  deben presentar una reactancia despreciable a la frecuencia de oscilación.

## Osciladores a cristal

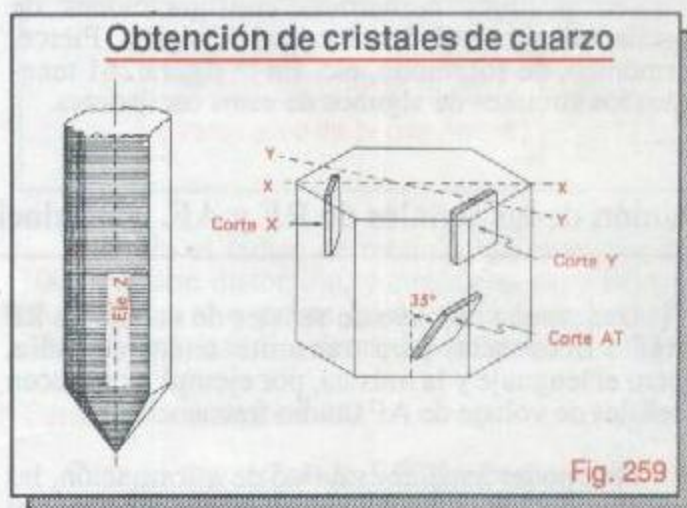
Este tipo de osciladores se caracterizan por utilizar en el circuito de sintonía un componente, llamado *cristal*, que exhibe propiedades *piezoeléctricas* y oscila por sí mismo, a una frecuencia determinada.

Los cristales más populares son los de cuarzo y sustituyen a los circuitos resonantes LC en la mayoría de aplicaciones de RF. La frecuencia a la cual un cristal de este tipo oscila depende de sus dimensiones físicas. Los osciladores a cristal se utilizan cuando se requiere generar una onda seno de frecuencia fija y altamente estable.

### Teoría básica de cristales de cuarzo. El efecto piezoeléctrico.

El efecto piezoeléctrico consiste en la creación de oscilaciones eléctricas en las caras opuestas de un cristal cuando éste se somete a esfuerzos mecánicos (compresiones y expansiones).

Los cristales se tallan a partir de un cristal matriz, como se muestra en la figura 259, y su aspecto final es el de una laminilla muy delgada, de forma cuadrada, rectangular, circular o de anillo.



Al ejercer una presión mecánica entre cualquier par de caras de un eje  $Y$  se produce una tensión eléctrica entre las aristas del eje  $X$  correspondiente. La polaridad de la tensión producida depende de si la presión aplicada al cristal se ejerce hacia adentro (compresión) o hacia afuera (expansión).

Así mismo, si se aplica una tensión eléctrica entre cualquier par de aristas  $X$ , las caras  $Y$  correspondientes vibrarán, expandiéndose y comprimiéndose alternadamente a una determinada frecuencia.



Los cristales para osciladores deben tallarse de acuerdo a dimensiones muy precisas pues éstas son las que determinan su frecuencia de operación. En general, entre más delgada sea la lámina, más alta será su frecuencia de oscilación y viceversa.

En la figura 260 se muestran la estructura interna, el aspecto externo y el símbolo de un cristal piezoeléctrico típico de cuarzo.



La cantidad de realimentación utilizada en un oscilador a cristal debe mantenerse a un nivel lo suficientemente bajo como para garantizar el arranque rápido de las oscilaciones y una operación confiable bajo condiciones de carga.

Son posibles numerosas configuraciones de osciladores controlados a cristal: Colpitts, Pierce, armónico, de sobretono, etc. En la figura 261 tenemos los circuitos de algunos de estos osciladores.

## Unión de las señales de RF y AF. Modulación.

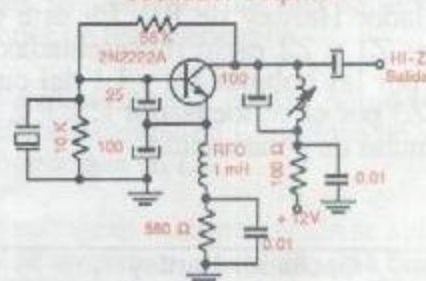
Una antena requiere de señales de voltaje de RF (radio frecuencia) para transmitir ondas de radio, pero el lenguaje y la música, por ejemplo, producen señales de voltaje de AF (audio frecuencia).

Para poder irradiar este tipo de información, las señales de RF y de AF deben combinarse de tal modo que la primera transporte a la segunda. Este proceso se denomina *modulación* y lo realiza en el transmisor un circuito llamado modulador.

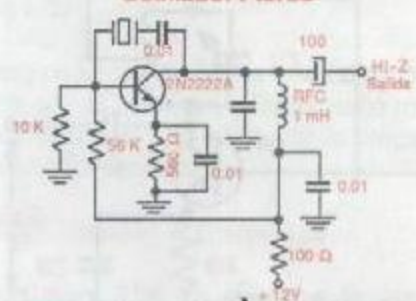
Las dos señales involucradas en el proceso reciben los nombres de onda *portadora* (RF) y onda *moduladora* (AF). Esta última se denomina también banda base y corresponde a la información o mensaje transmitido. El proceso contrario a la modulación se denomina *demodulación* y lo realiza en el receptor un circuito llamado demodulador o detector.

## Osciladores controlados a cristal

### Oscilador Colpitts



### Oscilador Pierce



### Oscilador Armónico de sobretono

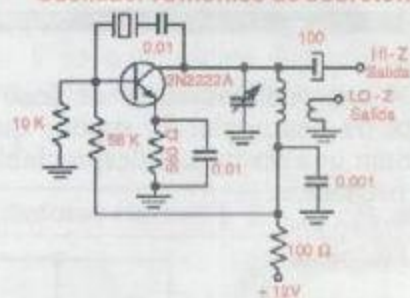


Fig. 261

En general, la modulación es el proceso de variar alguna característica de la forma de onda de la portadora, mediante la señal de modulación. Usualmente, se utiliza como portadora una onda sinusoidal o un tren de pulsos de alta frecuencia.

## Tipos de modulación

Los principales métodos o sistemas de modulación son: la modulación de amplitud (AM), la modulación de frecuencia (FM) y la modulación de pulsos. Esta última se utiliza en telegrafía y sistemas digitales de comunicación.

En esta lección, enfocaremos nuestra atención en los sistemas AM y FM. En AM, la información propiamente dicha está "codificada" en las variaciones de amplitud de la portadora y en FM lo está en las variaciones de frecuencia.



## Concepto de Banda Lateral

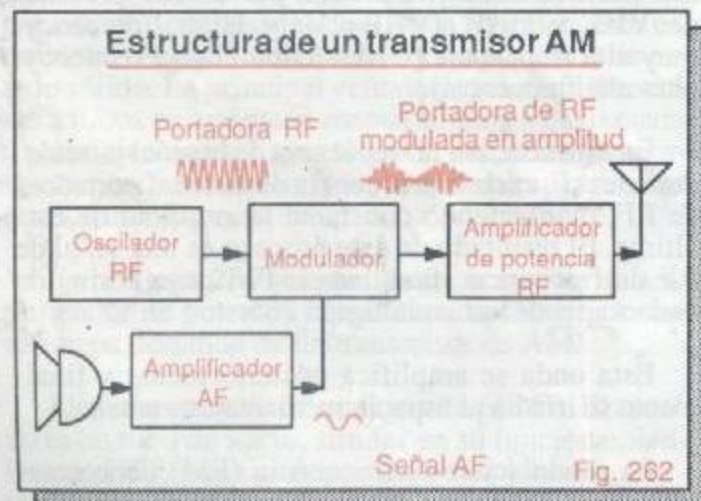
Cualquiera que sea el esquema de modulación utilizado, siempre que se modula una portadora se producen *bandas laterales*. Las bandas laterales son bandas de frecuencia, a lado y lado de la portadora, que resultan de variar una característica (amplitud, frecuencia, etc.) de la portadora, mediante la señal de modulación. Las bandas laterales contienen la información inteligente transmitida.

El proceso de modulación propiamente dicho crea dos bandas laterales, llamadas *banda lateral superior* (USB) y *banda lateral inferior* (LSB). La información contenida en ambas bandas laterales es la misma.

Algunos sistemas de modulación transmiten sólo una banda lateral y suprimen parcial o totalmente la otra. Es el caso de la SSB (Single Side Band o Banda Lateral Unica) y sus variantes. Este es el método utilizado en las comunicaciones entre radioaficionados. Se caracteriza por tener un largo alcance y por requerir potencias de transmisión relativamente bajas.

## Modulación de Amplitud (AM)

El método más común de modulación es la modulación de amplitud o AM. En la figura 262 se muestra el diagrama de bloques de un transmisor de AM típico. Veamos cómo opera en términos generales.

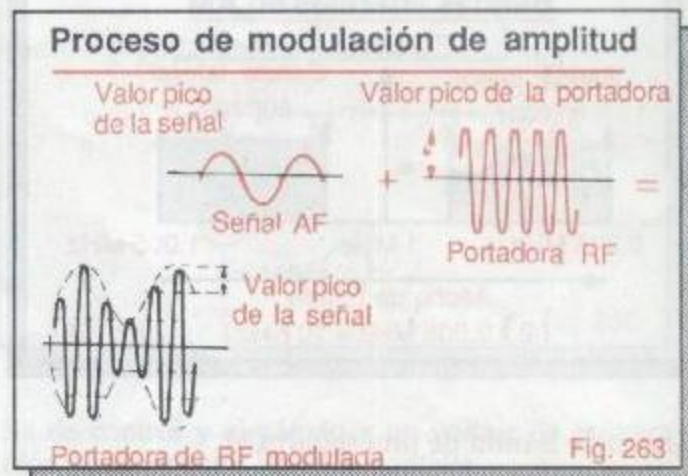


En el modulador, la señal de RF producida por el oscilador interno se combina con la señal de AF suministrada por el amplificador de audio y proveniente del micrófono. La frecuencia de la señal de AF (moduladora) varía la amplitud de la señal de RF (portadora).

El resultado es una señal de RF de amplitud modulada, que es amplificadora y luego irradiada.

## El proceso AM. Concepto de Índice de Modulación

En la figura 263 se muestra el efecto de combinar la señal de audio con la portadora de RF en el modulador de un transmisor de AM.



El factor más importante del proceso de modulación AM descrito es el *porcentaje o índice de modulación*. Este parámetro se designa como  $m$  y se define así:

$$m = \left[ \frac{(\text{Valor pico de la señal})}{(\text{Valor pico de la portadora})} \right] \times 100$$

Cuando el índice de modulación es mayor del 100%, ocurre distorsión, y cuando es muy bajo, la recepción es muy pobre. La mayoría de emisoras de AM utilizan un índice de modulación del 85 al 95%.

## Bandas Laterales en AM

Cuando una señal de RF, de frecuencia  $f_c$ , se modula en amplitud con una señal de AF puramente sinusoidal, de frecuencia  $f_s$ , la señal modulada de RF resultante está constituida por tres tipos de frecuencias: la frecuencia de la portadora ( $f_c$ ), la frecuencia lateral superior ( $f_c + f_s$ ) y la frecuencia lateral inferior ( $f_c - f_s$ ).

En la práctica, la información eléctrica de audio (música, voz, sonido, etc) que se envía sobre una portadora de RF, está formada por la combinación de varias señales puramente sinusoidales, cada una de las cuales produce su propio par de frecuencias laterales.



El resultado de este proceso de modulación es una gama o banda de frecuencias distribuidas simétricamente a lado y lado de la portadora de RF, como se muestra en la figura 264. A estas bandas de frecuencias se les denomina *bandas laterales superior (USB)* e *inferior (LSB)* y contienen toda la información de audio transmitida.



### Ancho de Banda de una señal AM

El ancho de banda **B** de la señal AM, generada bajo la circunstancia general descrita anteriormente, es la distancia entre las frecuencias laterales, superior e inferior, correspondientes a la señal de más alta frecuencia ( $f_{sm\acute{a}x}$ ) presente en la información de audio. Esto es:

$$B_{AM} = (f_c + f_{sm\acute{a}x}) - (f_c - f_{sm\acute{a}x}) = 2f_{sm\acute{a}x}$$

**Ejemplo:** Calcule el ancho de banda mínimo requerido para transmitir, en AM, una información de audio que contiene frecuencias entre 30 Hz y 3 KHz, sobre una portadora de 1000 KHz.

**Solución:** La frecuencia de la portadora es  $f_c = 1000$  KHz y la de la componente más alta en la información de audio es  $f_{sm\acute{a}x} = 3$  KHz. Por lo tanto:

$$B = 2 \times 3 \text{ KHz} = 6 \text{ KHz}$$

Al disponer de un ancho de banda de 6 KHz, la señal transmitida ocupará el espectro de frecuencias comprendido entre 997 KHz y 1003 KHz. Dentro de este rango no debe haber frecuencias laterales de otra estación porque se provocaría interferencia.

### Transmisiones comerciales de AM

La banda de frecuencias asignada para las estaciones de radio locales que transmiten por el sistema AM estandar se extiende desde 530 KHz has-

ta 1605 KHz. A esta banda se le llama onda larga y en ella se encuentran emisoras dedicadas generalmente a la difusión de noticias, deportes, música, etc. Su alcance está limitado a una ciudad o región.

En el sistema AM también se han asignado frecuencias para transmisión internacional. Son las llamadas estaciones de onda corta y transmiten principalmente en las bandas de 60, 49, 31, 25 y 19 metros de longitud de onda. En estas bandas se encuentran generalmente emisoras estatales, dedicadas a la transmisión de noticias internacionales, música folclórica, música clásica, notas culturales, etc.

En AM, y en general en todo sistema organizado de comunicaciones, cada estación debe realizar sus transmisiones a una frecuencia de portadora específica, asignada por el organismo rector de las comunicaciones en cada país o estado. Así mismo, debe estar convenientemente espaciada de las estaciones vecinas, para minimizar la interferencia entre ellas.

La separación normal entre emisoras de AM que transmiten en la banda de 530 KHz a 1605 KHz es de 9 KHz. Este valor corresponde, realmente, al ancho de banda máximo de cada transmisión. En consecuencia, la máxima frecuencia de audio que puede reproducirse con toda fidelidad en AM es de 4.5 KHz. La frecuencia de la portadora no debe exceder de  $\pm 20$  Hz con respecto a su valor nominal.

### Modulación de Frecuencia (FM)

Otro método común de modulación es la modulación de frecuencia o FM, utilizada por estaciones comerciales de radio y televisión y en comunicaciones de VHF y UHF. (VHF= Very High Frequency: muy alta frecuencia; UHF= Ultra High Frequency: ultra alta frecuencia).

En este sistema, la frecuencia de la señal moduladora de AF varía la frecuencia de la señal portadora de RF, manteniendo constante la amplitud de esta última. El resultado de este proceso es una señal de RF de frecuencia modulada o FM cuya forma de onda se puede ver en la figura 265.

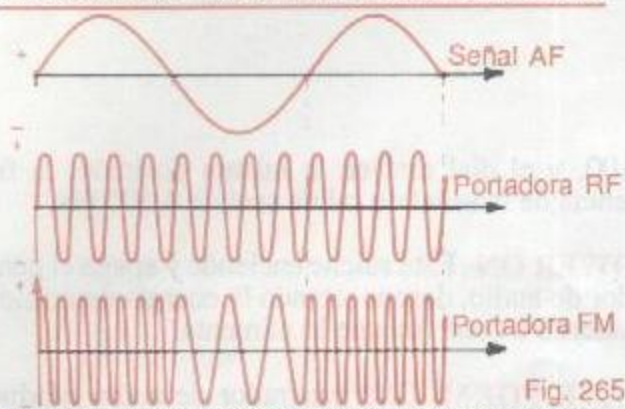
Esta onda se amplifica posteriormente y finalmente se irradia al espacio mediante una antena.

La modulación de frecuencia (FM) tiene notables ventajas sobre la modulación de amplitud (AM). Una de las más importantes es la inmunidad al ruido de interferencia generado por motores, alumbrado, sistemas de ignición de vehículos, tormentas eléctricas, etc.

Este ruido se induce en los receptores de AM porque estas señales tienden a ser moduladas en am-



## Proceso de modulación de frecuencia



plitud y no en frecuencia. En próximas lecciones estudiaremos el proceso completo de transmisión y recepción de señales de FM.

Las estaciones comerciales de FM transmiten en la banda de 88 a 108 MHz. El máximo ancho de banda concedido a cada estación es de 200 KHz. En este hecho radica la alta calidad de las transmisiones por este sistema.

## Amplificación de la señal modulada de RF

Los amplificadores de RF se utilizan en las estaciones de radio para amplificar la señal de alta frecuencia modulada que se va a irradiar al espacio a través de la antena. Como sabemos, esta señal puede estar modulada en amplitud (AM) o en frecuencia (FM). Esta sección se refiere exclusivamente a transmisores de AM.

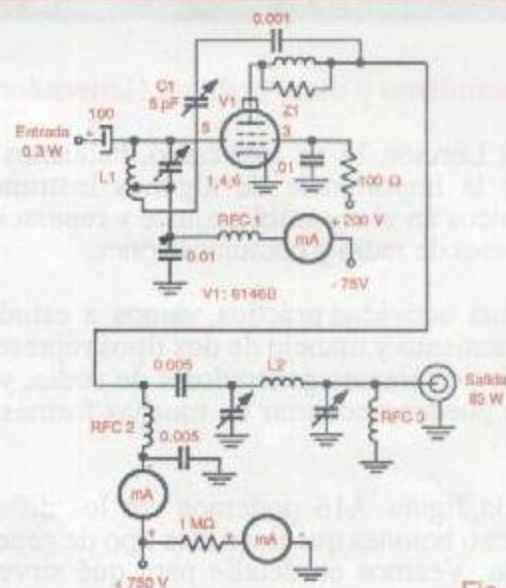
La mayoría de los circuitos modernos utilizados para amplificar la señal de RF son híbridos, esto es, emplean conjuntamente tubos y dispositivos de estado sólido. La principal ventaja de los amplificadores a tubos es que están menos sujetos a daño cuando manejan niveles excesivos de potencia, y soportan mejor las sobrecargas y los desacoplamientos que los transistores.

En la figura 266 se muestra el circuito de un amplificador de potencia clase C a tubos utilizado como etapa de salida de un transmisor de AM.

El elemento activo es un tetrodo 6146B. El tetrodo es un tubo de vacío, similar en su funcionamiento a un FET, que tiene un filamento y cuatro electrodos llamados cátodo, placa, rejilla de control y rejilla de pantalla.

Para operar correctamente, todos los amplificadores a tubos de RF requieren de un voltaje de CA para calentar el filamento, un voltaje positivo de alimentación de CC entre la placa y el cátodo, un voltaje de polarización negativo de CC entre la rejilla

## Etapa de salida de un transmisor AM



lla de control y el cátodo y un voltaje de polarización positivo entre la rejilla pantalla.

Al calentarse el filamento, el cátodo emite electrones, debido a un fenómeno físico conocido como "emisión termoiónica". La rejilla de control actúa como una válvula que regula el paso de electrones entre el cátodo y la placa. Una pequeña variación en el voltaje de rejilla provoca una gran variación en la corriente de placa. La rejilla de pantalla actúa como un blindaje y su objetivo es acelerar el paso de electrones entre la rejilla de control y la placa.

En un transmisor AM como el mostrado en la figura 266, la operación en clase C del amplificador de salida es la que ofrece el máximo rendimiento (65 a 75%). Esta configuración puede llegar a suministrar entre 650 y 750 W de potencia de salida. Los medidores se localizan en puntos estratégicos del circuito para monitorear los voltajes y corrientes que influyen en la potencia de transmisión.

La señal de salida del amplificador de potencia se suministra al sistema de antena. Este último está constituido por la antena propiamente dicha, la línea de transmisión y los circuitos de acoplamiento. Estos circuitos son del tipo LC y se utilizan para transferir la potencia de RF del amplificador a la línea de transmisión y de ésta a la antena.

Además de garantizar la máxima transferencia de potencia, los circuitos de acoplamiento deben también minimizar la generación de armónicas, es decir, de frecuencias diferentes a la frecuencia de transmisión de la estación. A esta función se le llama filtraje.



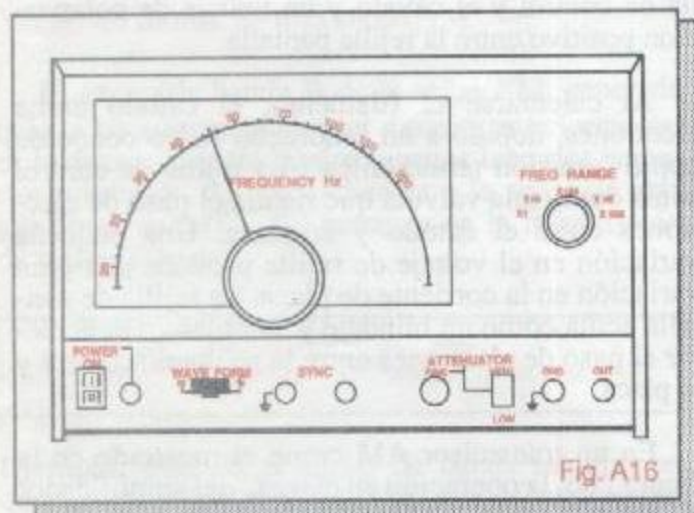
## Actividad práctica Nº 11

### Funcionamiento y manejo de un Generador de Audio

En la Lección 15 de este curso, habíamos mencionado la importancia de algunos instrumentos electrónicos en el ensamble, ajuste y reparación de los aparatos de radio y comunicaciones.

En esta actividad práctica, vamos a estudiar el funcionamiento y manejo de dos tipos representativos de los diferentes generadores de audio, ya que estos se pueden encontrar en muchas formas y calidades.

En la figura A16 podemos ver los diferentes controles o botones que tiene este tipo de generador de audio. Veamos en detalle para qué sirve cada uno de ellos.



**FREQUENCY.** Es un control de frecuencia cuya posición, marcada en la escala o dial, nos determina cuál será la frecuencia en Hertzios o ciclos por segundo, de la señal que se obtiene en los bornes de salida. Esta frecuencia depende también de la posición en que se encuentre el selector llamado FREQ. RANGE.

**FREQ. RANGE.** Este suiche selector rotatorio nos selecciona una determinada banda de frecuencias. Cuando está en la posición X1, por ejemplo, la frecuencia de salida será la que indica la escala. En el caso del dibujo, el generador estará entregando una señal de 45 Hz., aproximadamente.

En las otras posiciones, el suiche selector indica que en cada banda la frecuencia se multiplica por 10, por 100, por 1.000 (1K) y por 10.000 (10K). Así, por ejemplo, si este selector está en la posición

X100, y el dial está en la misma posición, la frecuencia de la señal de salida será de 4.500 Hz.

**POWER ON.** Este suiche enciende y apaga el generador de audio, desconectando la energía de corriente alterna o continua que lo alimenta.

**WAVE FORM.** Este generador de audio produce dos tipos de forma de onda: Onda seno o sinusoidal y onda cuadrada. Este suiche, por lo tanto, selecciona cuál de éstas dos formas de onda tendrá la señal de salida del generador.

**ATTENUATOR.** Esta función la realizan dos elementos, un suiche y un potenciómetro de ajuste y se refiere a la "Atenuación". Esta función consiste en que se puede ajustar el nivel o amplitud de la señal de salida mediante estos dos controles.

En la posición "HIGH" o alto, el generador entregará una señal alta, entre 0 y 10 voltios pico a pico, aproximadamente. En la posición "LOW" o bajo, el generador entregará entre 0 y 1 voltio pico a pico.

Con el potenciómetro marcado como "FINE" o ajuste, podemos variar la amplitud de la señal de salida en forma lineal. Esto se requiere para ajustar o colocar el nivel de la salida de acuerdo con el circuito que vamos a probar o ensayar.

**TERMINALES DE SALIDA.** Estos terminales o bornes están marcados como "GND" y "OUT". Por ellos sale la señal del generador de audio hacia el aparato o circuito de prueba. El terminal GND o tierra se debe conectar a la tierra, negativo o chasis del aparato que vamos a ensayar y el otro terminal, OUT, se conecta a la entrada del circuito.

### Operación del generador

El procedimiento a seguir es el siguiente: Primero debemos conectar el generador al circuito que deseamos probar.

Antes de esto debemos estar seguros de que el suiche de "POWER" o energía esté apagado, que el suiche "ATTENUATOR" esté en la posición "LOW" y que el control del nivel de salida "FINE" esté al mínimo (todo a la izquierda).

Adicionalmente debemos seleccionar cuál forma de onda y que frecuencia de señal, vamos a utilizar. Generalmente, en circuitos de radio y comunica-



ciones, se utiliza la onda seno. Para el ajuste de la frecuencia seleccionamos primero la banda y luego el valor exacto.

Por ejemplo, para una señal de salida de 1.000 Hz o 1.000 ciclos por segundo, el selector de bandas o rangos debe estar en la posición X10 y el dial o escala debe estar en la posición 100.

Una vez que se ha seleccionado la frecuencia, debemos ajustar el nivel de salida adecuado según el circuito que vamos a probar. En el caso específico del generador de audio mostrado anteriormente, debemos determinar si el voltaje de salida que deseamos está entre 0 y 10 voltios o entre 0 y 1 voltio.

Según el rango, colocamos el suiche "ATTENUATOR" en la posición "HIGH o LOW". Luego debemos mover hacia la derecha la perilla "FINE" hasta que en la salida se obtenga la señal con el nivel esperado. Para medir este nivel de voltaje, en forma precisa, se requiere un multímetro digital o un osciloscopio.

Al realizar la medida, debemos tener en cuenta que al tomar una señal con un multímetro análogo o digital, se obtiene el voltaje RMS y para obtener el voltaje pico a pico o  $V_{pp}$  se debe multiplicar este valor por 2.82. Se hace este comentario en base a que en radio y comunicaciones se acostumbra trabajar con señales pico a pico.

En el osciloscopio se pueden obtener fácilmente los valores pico o pico a pico como veremos más adelante.

En la figura A17 podemos observar otro tipo común de generador de audio y que utilizaremos como referencia para el análisis y calibración del radio CEKIT que ensamblamos con este curso.

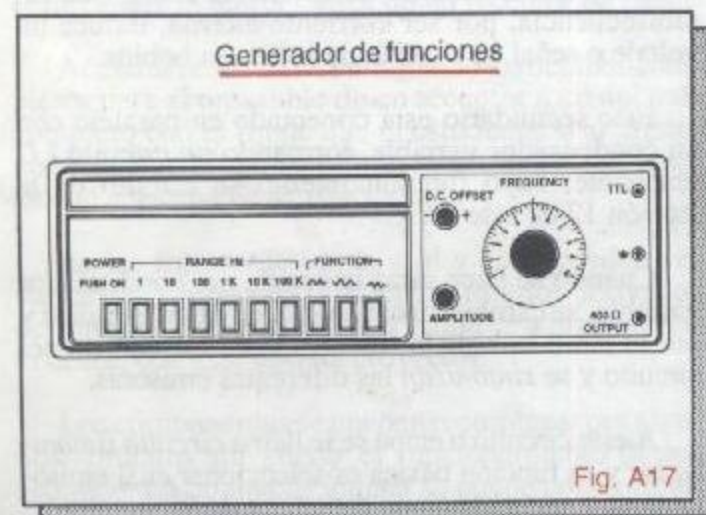


Fig. A17

**POWER ON.** Tiene la misma función que en el anterior para encender y apagar el instrumento.

**RANGE Hz.** Selecciona el rango de frecuencias multiplicando por 1,10,100,1.000,10.000 ó 100 mil el valor indicado por la perilla central "FREQUENCY".

**FUNCTION.** Selecciona la forma de onda de la señal de salida entre las opciones de onda cuadrada, seno y triangular, que se obtiene entre los bornes de tierra ( $\equiv$ ) y 600  $\Omega$  OUTPUT.

**D.C. OFFSET.** Permite colocar un nivel de CC entre + y - 5 voltios, sumado a la señal de salida en CA.

**AMPLITUDE.** Permite ajustar el nivel o voltaje de la señal de salida desde 0 hasta el máximo valor de 10 Voltios pico a pico que entrega el generador en el borne de salida de 600 $\Omega$ .

**FREQUENCY.** Con esta perilla seleccionamos el valor de la frecuencia de salida en Hertzios con valores desde 0.1 hasta 10 y trabaja relacionada con el botón de rango.

Por ejemplo, si colocamos esta perilla en el punto 5, y se presiona el botón de rango 1K, tendremos en la salida una señal de 5.000 Hertz.

**TTL.** Es un borne que entrega una señal de onda cuadrada con nivel de salida fijo y frecuencia ajustable, con la perilla central y el botón de rango. Permite manejar hasta 20 cargas TTL.

**600  $\Omega$  OUTPUT.** Entre este borne y tierra se obtiene la señal de salida del generador con un nivel, forma de onda y frecuencia que ha sido seleccionado con los controles mencionados anteriormente.

Para su operación, se debe proceder de la misma forma que con el generador anterior.

Seleccionar la frecuencia, el rango, la forma de onda y el nivel del voltaje de salida.

Debemos tener siempre en cuenta que el nivel de salida de un generador de señal, se debe ajustar al valor apropiado máximo que acepta un circuito.

Si aplicamos una señal excesiva a un circuito con transistores o con circuitos integrados, estos podrían dañarse.

También debemos proteger el generador intercalando un condensador entre éste y el circuito, con el fin de bloquear la corriente continua de polarización que existe en los circuitos para que no pase hacia la parte interna del generador.



## Receptores de radio

En la lección anterior estudiamos cómo se produce la señal de radio en una emisora. Sabemos que esta señal sale por la antena en forma de ondas electromagnéticas y que por su frecuencia se llaman específicamente ondas de radio.

También hemos estudiado cómo éstas viajan en diferentes formas según su frecuencia hasta llegar a lugares cercanos o muy distantes de su lugar de origen.

Vamos ahora a estudiar cómo se reciben estas ondas y cómo se obtiene de ellas nuevamente la información o mensaje que contienen. El aparato electrónico que realiza este trabajo se llama *receptor de radio* o, simplemente, *radio*.

El radio es quizás el aparato electrónico que más se encuentra sobre la Tierra y el más utilizado por el hombre. Con él escuchamos noticias, música, recibimos programas educativos y nos informamos de muchas otras actividades que han hecho que el hombre se comunique con sus semejantes a través de todo el mundo.

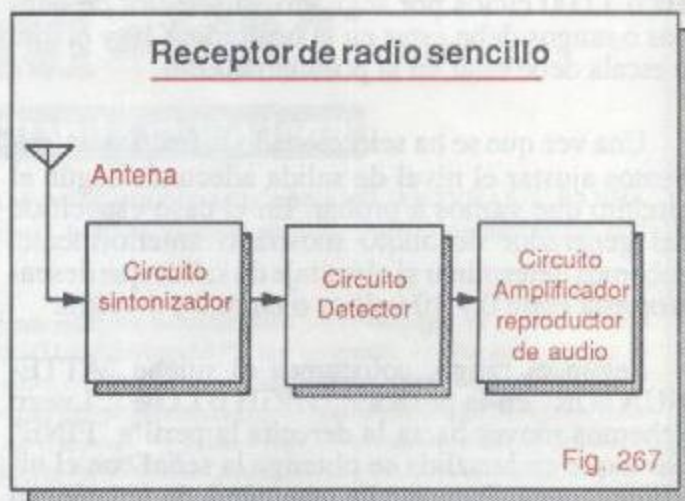
Para estudiar el radio lo haremos analizando cada una de sus etapas o partes en que está dividido. Aunque existen muchos tipos de radios, en su gran mayoría se fundamentan en los mismos principios básicos que estudiaremos y utilizan los componentes y leyes que hemos analizado en las lecciones anteriores.

Todos los receptores interceptan una señal de radio mediante la antena, la amplifican, la demodulan y luego la reproducen con la misma modulación (audio) con que fue enviada desde una estación remota. Los receptores difieren en la forma como procesan internamente la señal original y en los circuitos empleados para tales efectos.

### Receptores sencillos de radio

Vamos ahora a estudiar el funcionamiento de receptores de radio muy sencillos con el fin de entender su operación y poco a poco iremos introduciendo circuitos más complejos, hasta llegar a un receptor completo tipo *superheterodino*, que es el sistema empleado por la mayoría de los receptores modernos.

En la figura 267 tenemos el diagrama de bloques o etapas de un receptor de radio muy sencillo.



Diríamos que es el radio mínimo que se puede construir.

Este circuito en la práctica se puede ensamblar como se muestra en las figuras 268a y 268b.

El receptor mostrado recibe el nombre de *receptor a cristal o galena* ya que anteriormente el diodo era construido con cristal de galena o carborundum, un material que permitía el paso de la corriente en una sola dirección.

Vamos ahora a analizar cada una de las etapas de este receptor a cristal. En el alambre de la antena están presentes una gran cantidad de emisoras de radio, siendo las señales más fuertes aquellas de las emisoras más cercanas o que transmiten con mayor potencia en kilovatios.

Al estar conectada la antena al primario de una bobina o transformador de antena, la energía de radiofrecuencia, por ser corriente alterna, induce un voltaje o señal en el secundario de esa bobina.

Este secundario está conectado en paralelo con un condensador variable, formando un circuito LC resonante, cuyo funcionamiento se estudió en la lección 12 de este curso.

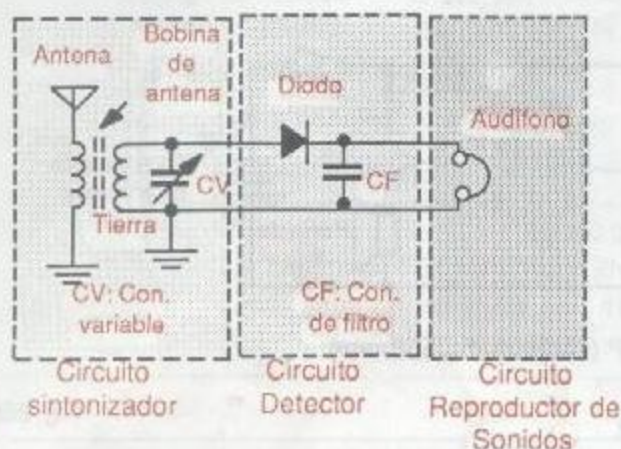
Quando se hace girar la perilla del condensador variable, se cambia su capacidad en microfaradios y por lo tanto cambia la frecuencia de resonancia del circuito y se *sintonizan* las diferentes emisoras.

A este circuito o etapa se le llama *circuito sintonizador* y su función básica es seleccionar cuál emisora se va a escuchar en un momento dado.



## Receptor básico a cristal

a) Diagrama esquemático



b) Diagrama pictórico

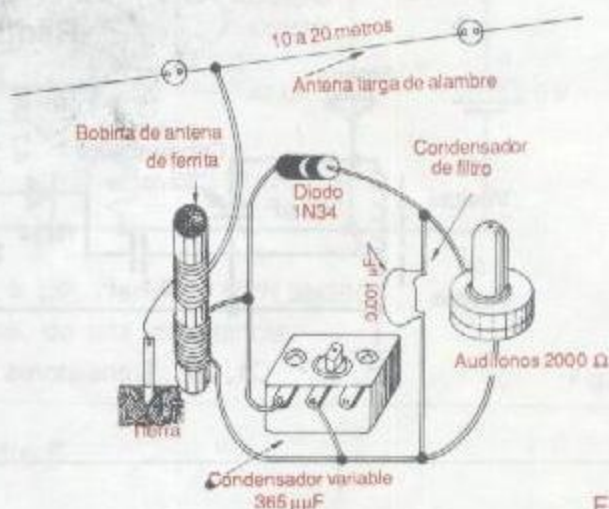


Fig. 268

Esta señal de la emisora sintonizada, como vimos en la lección anterior, está formada por una onda de alta frecuencia cuya amplitud está *modulada* por la señal sonora o de audio.

Dicha señal se *rectifica* por medio del diodo, es decir, se elimina su parte negativa, quedando media onda de la original. Luego, con el condensador de filtro, se elimina la parte de alta frecuencia o *portadora*, quedando la señal de audio. A esta etapa se le llama *etapa detectora*.

Después, esta señal se lleva a un parlante, el cual convierte la corriente eléctrica de audio o baja frecuencia en sonidos que son escuchados por el oído humano.

Este circuito, por ser tan simple, tiene poca selectividad y baja sensibilidad pero es muy útil para comprender la teoría básica de un receptor de radio.

Adelante, estaremos entregando los detalles completos para el ensamble de un receptor a cristal más completo con el fin de que el estudiante o el aficionado puedan armar su primer radio, actividad emocionante y llena de satisfacción.

En las figuras 269 a, b, c, d y e, se pueden ver varios diagramas con diferentes circuitos derivados del anterior para que el lector empiece a practicar, si lo desea, con este tipo de proyectos.

Los componentes se pueden reemplazar por algunos similares sin alterar el funcionamiento de los aparatos. La bobina de antena se puede construir siguiendo las indicaciones suministradas en el dibujo.

Ahora describamos algunos aspectos prácticos relacionados con las características de la antena y la construcción de la bobina de ferrita. Estos conocimientos son importantes para obtener óptimos resultados en la captación de señales de radio mediante receptores a cristal.

### Características del sistema de antena y de tierra

Para obtener buenos resultados con estos radios experimentales y maximizar el nivel de señal recibido, debe utilizarse una buena antena y un buen sistema de tierra.

La antena debe ser un tramo de alambre de cobre de unos 8 a 30 m de longitud, extendido horizontalmente entre dos postes tan altos como sea posible y en un área despejada. Entre los extremos del alambre de antena y los postes deben interponerse aisladores de plástico, vidrio o porcelana.

De este modo, desde el punto de vista eléctrico, la antena queda como si fuera un alambre suspendido en el aire. El alambre de bajada de la antena también debe estar aislado. En la figura 270 se muestra el aspecto final de una instalación típica de antena.

El sistema de tierra se puede obtener conectando un alambre de baja resistencia entre la tierra del circuito y una tubería o conducto de agua que penetre profundamente en el suelo. En algunos casos, se obtienen también buenos resultados conectando la tierra del circuito al retén metálico del disco de marcación de un teléfono rotatorio.



## Diagramas de radios sencillos que se pueden construir

**Radio 1**

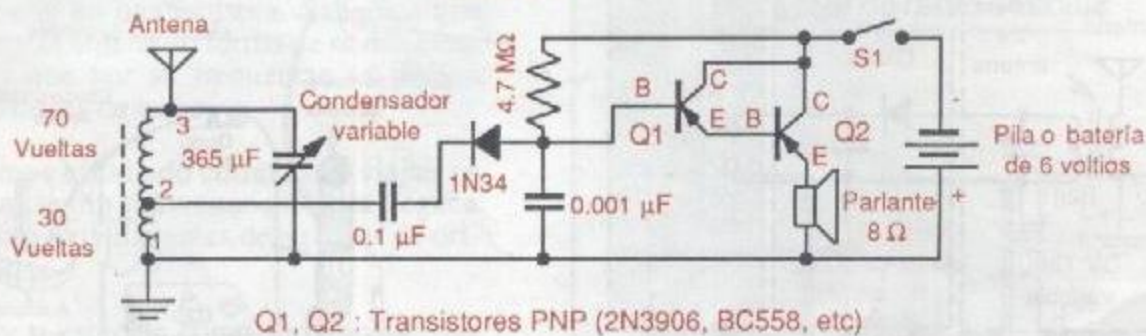


Fig. 269 a

**Radio 2**

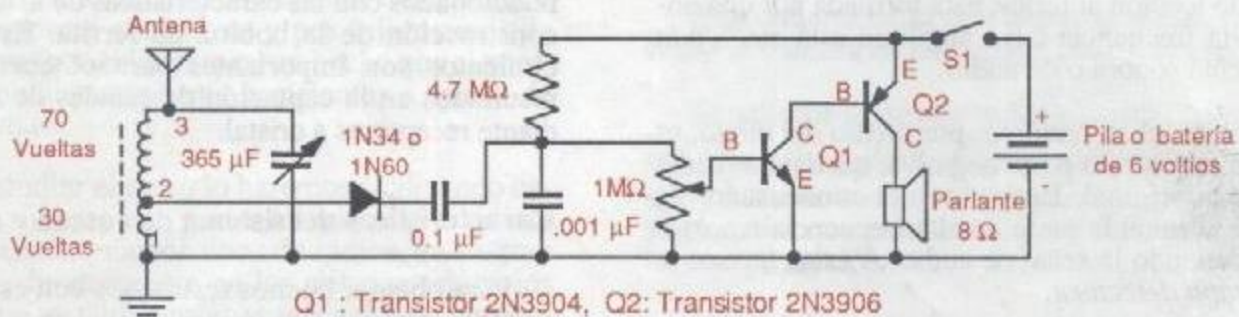


Fig. 269 b

**Radio 3**

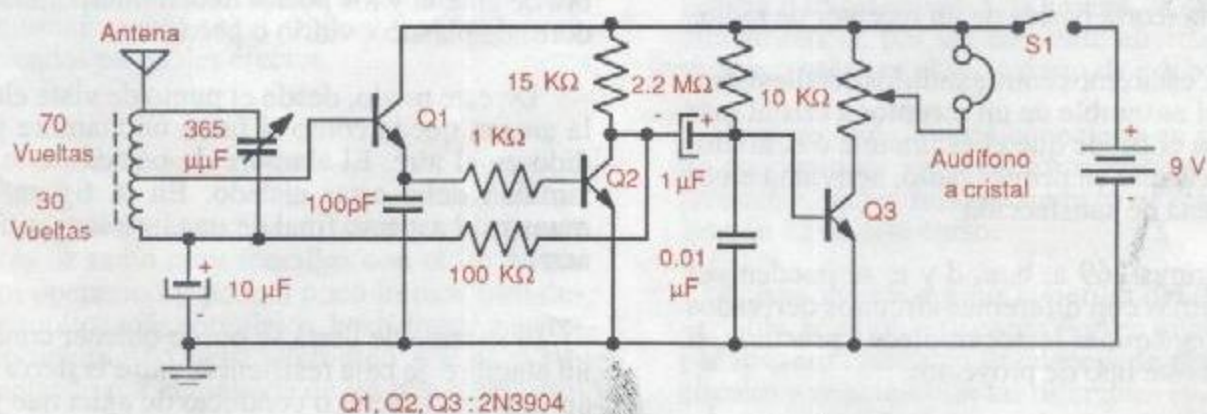


Fig. 269 c



### Radio 4

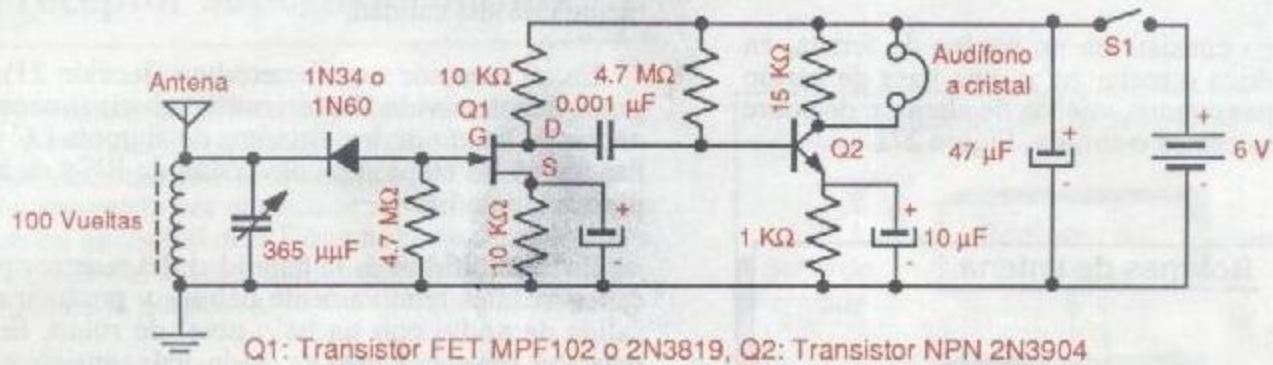


Fig. 269 d

### Radio 5

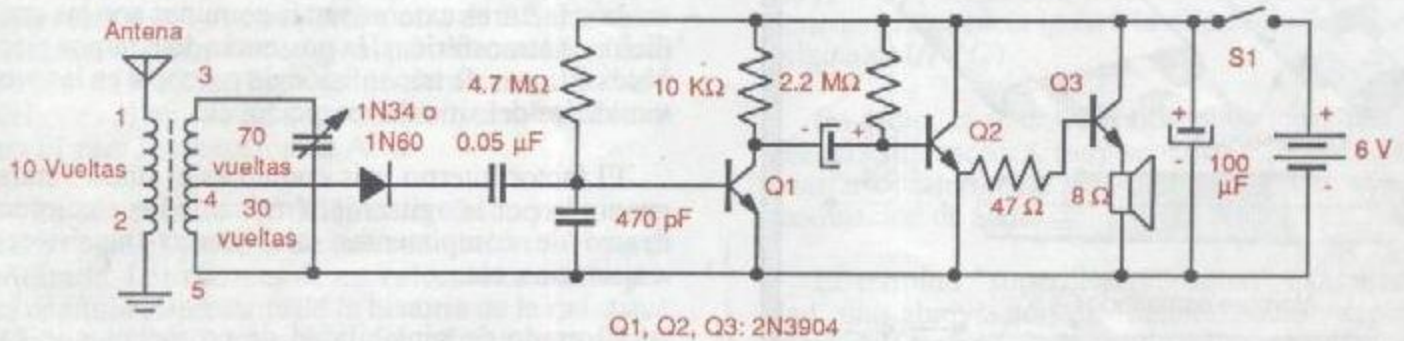


Fig. 269 e

Si lo desea, Ud. mismo puede construir su propio sistema de tierra, utilizando una varilla gruesa de cobre de 2 ó 3 metros de larga, enterrada profundamente en el suelo.

Estas varillas se conocen comercialmente con el nombre de varillas Copperweld y poseen un extremo puntiagudo para facilitar la penetración, y, en el otro llevan una abrazadera metálica para realizar la conexión eléctrica.

La conductividad del suelo que rodea la varilla se puede mejorar regándolo con una solución líquida conductora de electricidad como aguasal, cloruro de cobre, etc. Estas sustancias se conocen con el nombre de *electrolitos* y se obtienen mezclando agua con una sal química cualquiera, incluyendo la de cocina (cloruro de sodio o NaCl).

### Construcción de bobinas de antenna con núcleo de ferrita

Las bobinas de antenna con núcleo de ferrita son las más empleadas en los receptores actuales. Aunque se pueden conseguir fácilmente en los almace-

### Sistema de antenna

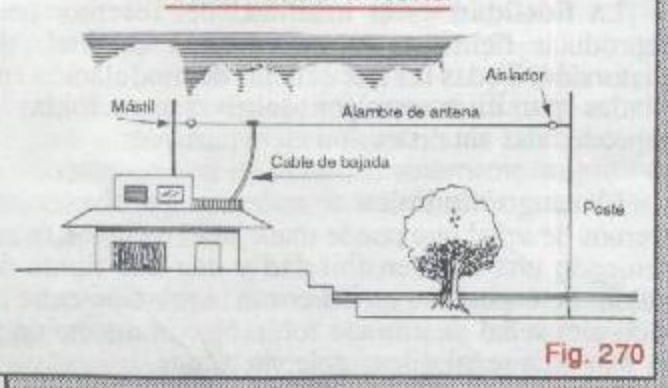
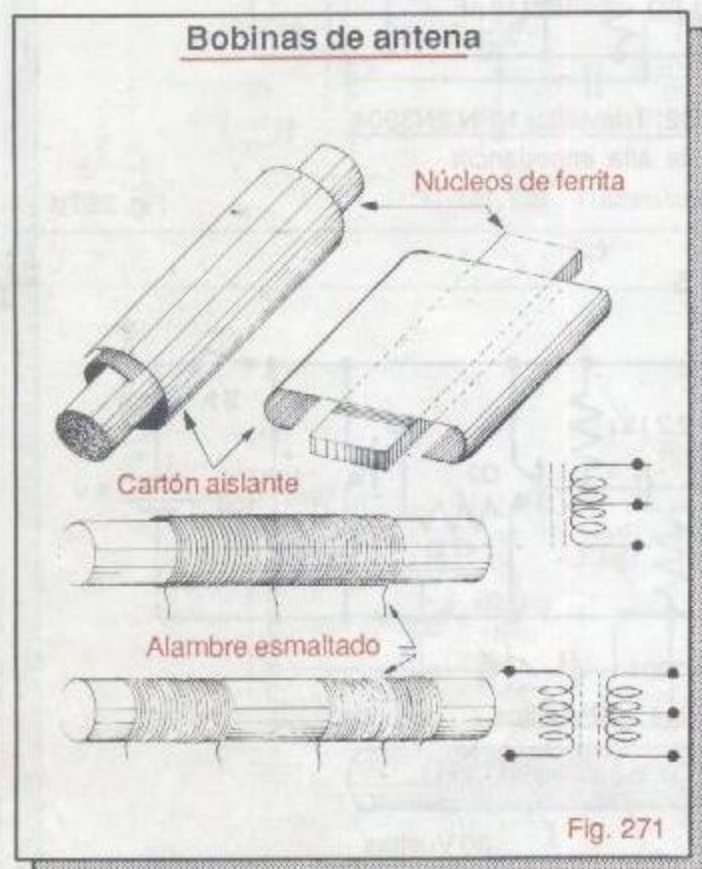


Fig. 270



nes especializados, su construcción por parte del estudiante o del aficionado se puede realizar sin ningún problema.

La bobina consiste en un núcleo de ferrita, en forma cilíndrica o rectangular, una base de cartón aislante y unas cuantas vueltas de alambre de cobre esmaltado calibre 28 o similar. Figura 271.



Según las indicaciones de los diagramas, se deben enrollar firmemente, alrededor del cartón aislante que está sobre el núcleo de ferrita, una determinada cantidad de vueltas o espiras con el alambre de cobre.

A veces se construye una sola bobina con una derivación o "TAP" a cierto número de vueltas. Otras veces se requieren dos bobinas, una primaria y otra secundaria.

### Características generales de los receptores de radio

Los receptores de radio, en general, deben reunir ciertas características con el fin de garantizar una recepción de óptima calidad. Las principales son la selectividad, la sensibilidad, la estabilidad, la fidelidad y el rango dinámico.

La **selectividad** es la habilidad del receptor para seleccionar una determinada estación de radio y re-

chazar las demás, incluso aquellas que tienen una frecuencia de transmisión muy próxima a la de la elegida. Una alta selectividad no implica necesariamente una alta calidad.

En un receptor superheterodino (lección 21), el grado de selectividad lo determina principalmente el *ancho de banda* de los circuitos de sintonía LC utilizados en las etapas de conversión de RF y de amplificación de FI.

La **sensibilidad** es la habilidad del receptor para captar señales relativamente débiles y producir una salida de audio con un bajo nivel de ruido. Entre más alta sea esta *figura de ruido*, más sensible es el receptor. El ruido enmascara las señales débiles y las hace difíciles de procesar.

El ruido producido en los receptores puede ser causado por factores externos o internos.

Los factores externos más comunes son las condiciones atmosféricas, la presencia de equipos eléctricos y líneas de transmisión de potencia en las proximidades del sitio de recepción, etc.

El factor interno más común es el ruido natural generado por la agitación térmica de los electrones dentro de componentes tales como transistores, resistencias, etc.

El grado de sensibilidad de un receptor se expresa generalmente en microvoltios ( $\mu V$ ) y se define como el valor de señal de entrada necesario para producir una señal de salida 10 veces (20 dB) más fuerte que la señal de ruido. Debido a la diferente intensidad con la cual llegan las diversas señales a la antena, prácticamente todos los radios modernos están provistos de un circuito de control automático de ganancia (CAG).

La **estabilidad** es la habilidad del receptor para mantener sintonizada la estación elegida. La estabilidad puede ser afectada por factores tales como la temperatura, las variaciones del voltaje de alimentación, etc. La estabilidad la determina principalmente el diseño del oscilador local.

La **fidelidad** es la habilidad del receptor para reproducir fielmente la información original, sin distorsión. Todas las frecuencias de modulación enviadas por el transmisor deben ser recibidas y reproducidas sin distorsión en el parlante.

El **rango dinámico** se refiere a los niveles extremos de señal que puede manejar el receptor, manteniendo una alta sensibilidad y una alta figura de ruido. Se especifica en dB como la relación entre la más alta señal de entrada tolerable sin distorsión y la más baja señal discernible sin ruido.



## El receptor superheterodino

El receptor *superheterodino* se llama así porque utiliza el principio de heterodinación o de *batido de señal*. Mediante este proceso, la señal de RF de entrada, entregada por el circuito sintonizador, se convierte en una señal de RF que tiene siempre la misma frecuencia, independientemente de la frecuencia original de la portadora.

A esta nueva frecuencia se le denomina frecuencia intermedia o FI. La señal modulada de FI lleva la misma información de audio de la señal de RF original.

En otras palabras, si en el circuito sintonizador se selecciona una emisora que transmite a 800 KHz, esta señal se convierte a otra de RF que tiene la misma modulación original pero con una frecuencia de 455 KHz. Este valor de frecuencia (455 KHz), es el que se ha adoptado universalmente como FI para la recepción de AM.

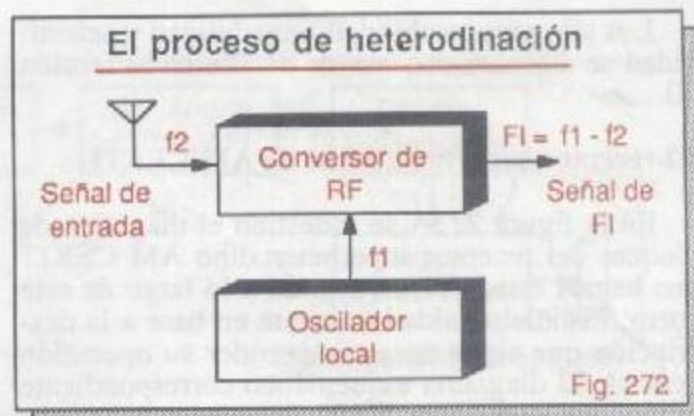
La elección de 455 KHz como frecuencia intermedia para el proceso de heterodinación AM no es arbitraria. Las razones de esta elección constituyen un capítulo interesante de la historia de la radio que le recomendamos investigar. Inicialmente se utilizaron frecuencias intermedias de 175 y 262 KHz.

El mismo proceso se realiza con la señal de cualquier emisora que transmita dentro de la banda comprendida entre 550 y 1600 KHz, que es la asignada oficialmente para AM de onda media (OM o MW). Lo que se hace, en síntesis, con la heterodinación es trasladar la modulación original de una portadora cualquiera a una portadora fija de 455 KHz, llamada frecuencia intermedia.

El proceso de heterodinación lo realiza en el receptor la etapa convertora de RF. Este circuito recibe la señal modulada de RF procedente de la antena, la amplifica y la mezcla con la señal producida por el oscilador local. La señal de salida del convertor de RF (455 KHz) se aplica al primer amplificador de FI. Figura 272.

Las etapas de frecuencia intermedia son amplificadores *sintonizados*, es decir, están configurados y ajustados de tal manera que solamente amplifican una banda estrecha de señales, dándole *selectividad* al receptor.

La heterodinación utilizada en radio es similar a la producción de batidos en sonido. En este último caso, dos notas de frecuencias ligeramente diferen-



tes  $f1$  y  $f2$ , crean otra nota, la nota de batido, que tiene una frecuencia igual a la diferencia de las notas originales ( $f1 - f2$ ).

En radio, la nota de batido debe tener una frecuencia supersónica, muy superior a 20 KHz. De lo contrario, interferiría con el sonido implícito en la modulación de audio.

El término "superheterodinación" es, en realidad, una abreviación de "heterodinación supersónica". A la frecuencia de batido la llamamos frecuencia intermedia y tiene un valor de 455 KHz en AM y de 10.7 MHz en FM.

### Ventajas de la superheterodinación

Al trasladar, mediante el proceso de heterodinación, cualquier frecuencia de portadora captada en el circuito de antena a una portadora más baja, de frecuencia fija, que conserva la misma modulación original y a la cual ocurre la máxima ganancia y selectividad posibles, se obtienen, entre otras, las siguientes ventajas:

- Una muy alta estabilidad, porque la posibilidad de realimentación positiva y, en consecuencia, de oscilaciones indeseables de los amplificadores de alta frecuencia, es más baja cuanto más baja sea la frecuencia de operación.

- Una muy alta sensibilidad porque entre más amplificadores de FI se puedan utilizar (dos son generalmente suficientes), más grande es la ganancia que se puede obtener.

De hecho, la gran sensibilidad de los receptores modernos de radio es una consecuencia del elevado grado de amplificación que se consigue, sin dificultad, en las etapas de frecuencia intermedia.



• Una muy alta selectividad porque se pueden emplear cuantos circuitos sintonizados de FI se quieran, sin crear los problemas de seguimiento que se originan cuando se intenta ajustar varios condensadores variables al mismo tiempo.

Los términos estabilidad, sensibilidad y selectividad se discuten con mayor detalle en la lección 20.

### El receptor superheterodino de AM CEKIT

En la figura 273A se muestran el diagrama de bloques del receptor superheterodino AM CEKIT que hemos estado construyendo a lo largo de este curso. Estúdielo cuidadosamente en base a la descripción que sigue para comprender su operación general. El diagrama esquemático correspondiente se muestra en la figura 273B.

Nuestro receptor superheterodino consta básicamente de las siguientes etapas:

- Un amplificador de radiofrecuencia (RF);
- Un mezclador o conversor;
- Un oscilador local;
- Dos amplificadores de frecuencia intermedia (FI);
- Un detector o demodulador y
- Un amplificador de audio.

El amplificador de RF incluye el circuito de antena y constituye junto con el mezclador la etapa conversora de RF, que es la responsable de la heterodinación. Veamos ahora cómo se realiza el flujo de las diferentes señales a lo largo del sistema y qué hace cada bloque.

El circuito de antena o de sintonía es un tanque resonante LC formado por un condensador variable (CV1) y una bobina de ferrita (L1). Su propósito es seleccionar una señal de entrada específica entre las muchas que llegan a la antena.

Ajustando el condensador variable, sintonizamos el tanque LC a una determinada frecuencia. Las señales moduladas de RF enviadas por todas las estaciones de radio llegan a la antena, pero el circuito de sintonía solo deja pasar aquella que tenga una frecuencia de portadora igual a su frecuencia natural de resonancia, digamos 950 KHz.

La señal captada por el circuito de sintonía se transfiere al amplificador de RF donde se amplifica a un nivel adecuado. La señal de salida del amplificador de RF se mezcla o heterodina con la señal producida por el oscilador local para producir una señal que tiene siempre una frecuencia intermedia (FI) de 455 KHz pero conserva la misma modulación de amplitud original.

La señal suministrada por el oscilador local es una onda sinusoidal pura, esto es, no contiene ningún tipo de modulación. Su frecuencia la determinan el condensador variable CV2 y la bobina osciladora L2 ("roja").

Los condensadores CV1 y CV2 trabajan en "tandem", es decir, varían su capacidad al mismo tiempo. De este modo, se garantiza que la diferencia de frecuencia entre las señales del oscilador local y la de antena sea siempre de 455 KHz. Es decir, la frecuencia del oscilador local es siempre 455 KHz más alta que la frecuencia captada. Esta es una condición necesaria para la heterodinación.

Tanto la amplificación de RF como la generación de la señal local y la heterodinación de las mismas las realiza el transistor Q1 en asocio con los demás componentes de la etapa conversora. La señal de salida del mezclador se aplica al primer amplificador de FI mediante el transformador T1.

Es importante destacar que cuando las señales de antena y del oscilador local se heterodinizan, el mezclador produce las frecuencias originales así como sus respectivas frecuencias suma y diferencia.

Sin embargo, la salida del mezclador se sintoniza para que entregue únicamente la *diferencia* entre las frecuencias local y de antena.

Los dos amplificadores de FI realizan sucesivas amplificaciones de la señal modulada de FI suministrada por T1 hasta que ésta alcanza un nivel lo suficientemente alto como para excitar el detector. La señal de salida de la primera etapa de FI se suministra a la segunda a través del transformador T2.

La señal de salida de la segunda etapa de FI se suministra al detector a través del transformador T3. La amplificación en la primera etapa de FI la realiza el transistor Q2 y en la segunda la efectúa el transistor Q3.

La señal que ingresa al detector es una señal de alta frecuencia (455 KHz) modulada en amplitud por la información de audio que se desea reproducir. El detector elimina la componente de alta frecuencia y deja pasar únicamente la señal de audio que la modula. El componente principal del circuito de detección es el diodo D1.

La señal de salida del detector (audio) se aplica al amplificador de audio, alcanzando una potencia lo suficientemente alta como para impulsar el parlante. En este último, las variaciones de amplitud de la señal de entrada se convierten en sonidos que son una réplica de la información de audio (palabras, música, etc) originalmente enviada por la emisora.



## Receptor CEKIT Superheterodino de 6 transistores

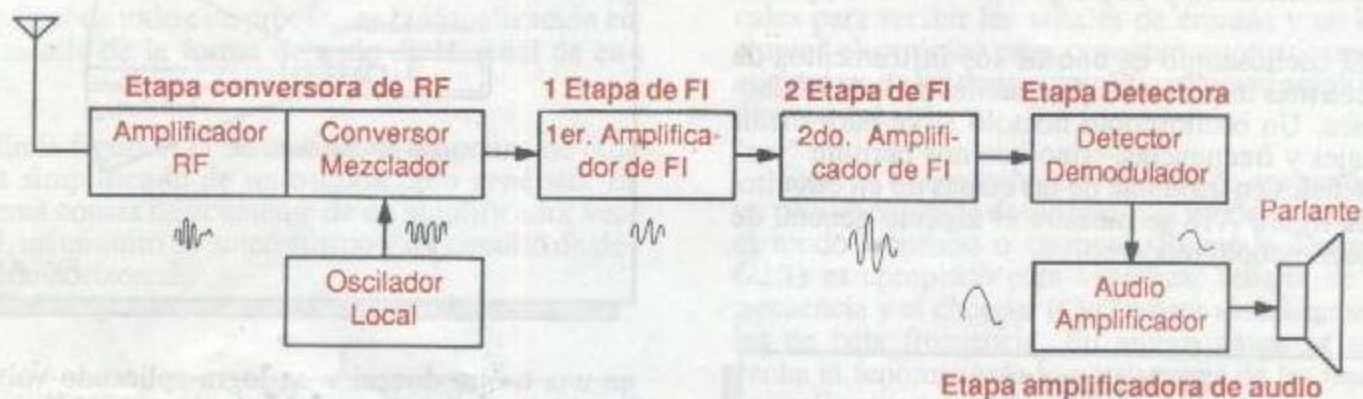


DIAGRAMA DE BLOQUES

Fig. 273 a

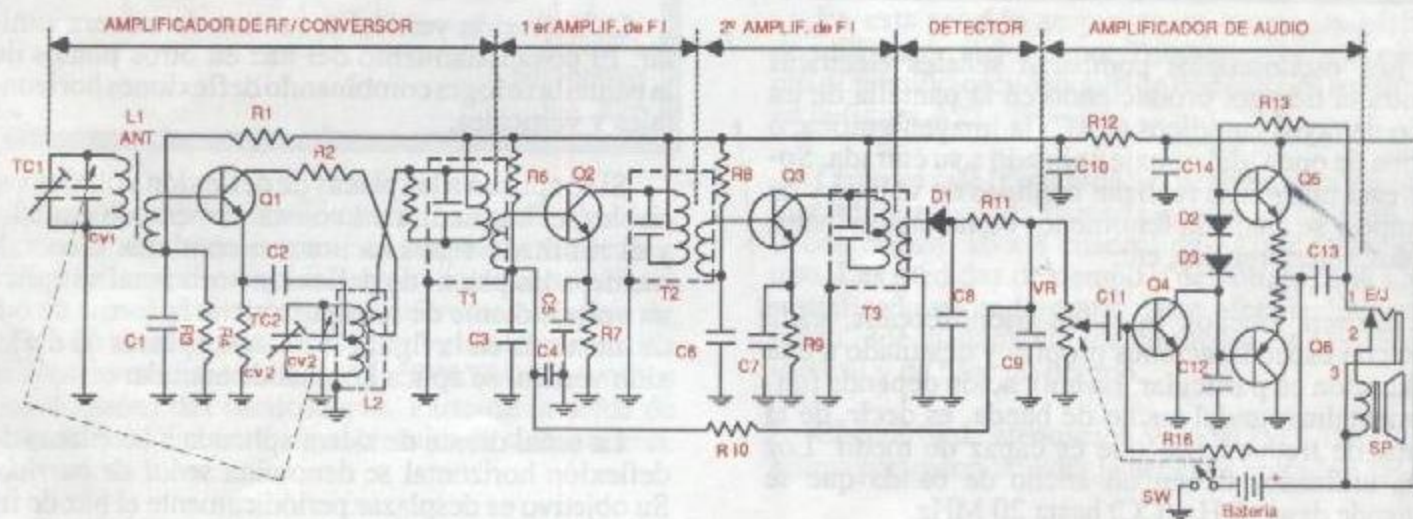


DIAGRAMA ESQUEMATICO

Fig. 273 b

Los componentes responsables de la amplificación de la señal de audio son los transistores Q4, Q5 y Q6. En particular, Q4 actúa como preamplificador mientras Q5 y Q6 lo hacen como amplificadores de potencia, dispuestos en una configuración llamada par complementario o "push-pull".

Resumiendo, el radio AM CEKIT es un receptor superheterodino de 6 transistores. El sistema capta transmisiones de AM enviadas por estaciones de radiodifusión que operan en la banda de 550 a 1600 KHz y utiliza una portadora interna estándar de 455 KHz llamada frecuencia intermedia (FI).



## Actividad práctica Nº 12

### Conocimiento y manejo del osciloscopio

El osciloscopio es uno de los instrumentos de prueba más importantes y versátiles de toda la electrónica. Un osciloscopio no solo sirve para medir voltajes y frecuencias, sino que nos permite "ver" las señales en cada una de las etapas de un circuito. En la figura A18 se muestra el aspecto general de un osciloscopio moderno.

#### El Osciloscopio



Fig. A18

Los osciloscopios comparan señales eléctricas contra el tiempo, produciendo en la pantalla de un tubo de rayos catódicos (TRC) la imagen gráfica, o forma de onda, del voltaje aplicado a su entrada. Sobre esta imagen se realizan medidas de voltaje y de tiempo y se analizan fenómenos como distorsiones, ruidos, interferencias, etc.

Existen muchos tipos de osciloscopios, cada uno con especificaciones propias y destinado a una aplicación en particular. La aplicación depende fundamentalmente del ancho de banda, es decir, de la gama de frecuencias que es capaz de medir. Los más utilizados tienen un ancho de banda que se extiende desde 0 Hz (CC) hasta 20 MHz.

#### Cómo trabaja un osciloscopio

El corazón de un osciloscopio es un tubo de rayos catódicos o TRC similar al de un televisor (figura A19). Un TRC típico consta de un cañón electrónico, una pantalla recubierta de fósforo y dos pares de placas de deflexión. Estas últimas se denominan placas de deflexión horizontal y placas de deflexión vertical, respectivamente.

El cañón emite un haz o chorro de electrones. Este haz es desviado horizontal o verticalmente por las placas de deflexión y se estrella a gran velocidad contra el fósforo de la pantalla, provocando la aparición de un punto luminoso. La desviación del haz

### Principio de operación del osciloscopio



Fig. A19

en una u otra dirección se logra aplicando voltajes apropiados a las placas de deflexión.

Si los voltajes netos aplicados a las placas de deflexión vertical y horizontal son iguales a cero, el haz no se desvía y el resultado es un punto en el centro de la pantalla. Si el voltaje de la placa derecha es más positivo que el de la placa izquierda o viceversa, el haz se desvía hacia la derecha o hacia la izquierda y el resultado es un punto a la derecha o a la izquierda del centro.

La deflexión vertical se realiza de manera similar. El posicionamiento del haz en otros puntos de la pantalla se logra combinando deflexiones horizontales y verticales.

Si se aplican a las placas de deflexión voltajes variables, el haz explorará constantemente la pantalla y el resultado será una imagen continua. Generalmente, a las placas de deflexión horizontal se aplica un voltaje diente de sierra que tiene la forma de onda mostrada en la figura A20. A las placas de deflexión vertical se aplica la señal de entrada.

La señal diente de sierra aplicada a las placas de deflexión horizontal se denomina *señal de barrido*. Su objetivo es desplazar periódicamente el haz de izquierda a derecha de la pantalla y producir, en ausencia de señal de entrada, un trazo horizontal visible llamado *barrido*.

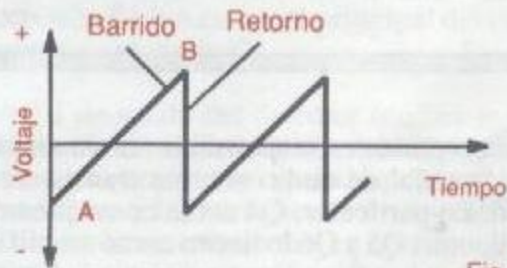
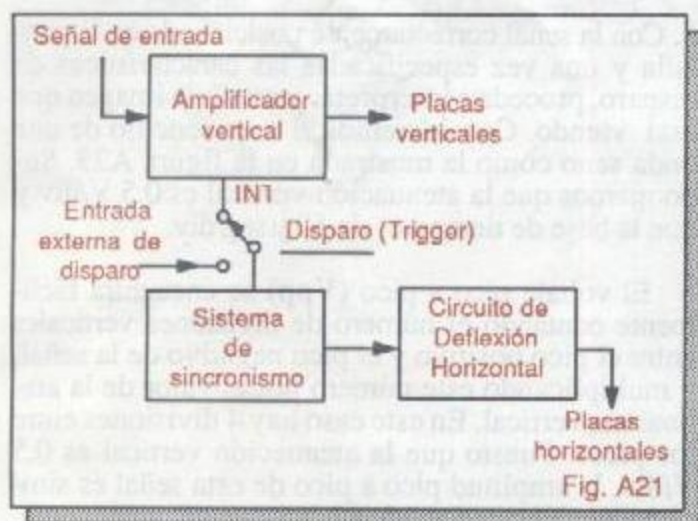


Fig. A20



El efecto de la señal aplicada a las placas de deflexión vertical es desviar el haz hacia arriba y hacia abajo a medida que se realiza el barrido. La cantidad y dirección de la desviación dependen del valor instantáneo y de la polaridad de la misma. El resultado final de todo este proceso es la visualización en la pantalla de la forma de onda de la señal de entrada.

En la figura A21 se muestra el diagrama de bloques simplificado de un osciloscopio genérico. El sistema consta básicamente de un amplificador vertical, un circuito de sincronismo y un circuito de deflexión horizontal.



La señal de entrada se aplica al amplificador vertical y la salida de éste excita las placas verticales. El amplificador vertical incluye un atenuador calibrado que le permite manejar diferentes niveles de señal. El nivel de atenuación requerido lo selecciona el usuario mediante el control "VOLTS/DIV" (voltios por división) del osciloscopio. Parte de la señal de entrada se aplica también al circuito de sincronismo.

El objetivo del circuito de sincronismo es sincronizar la generación o *disparo* de la señal de barrido interna con la señal de entrada o con una señal externa, logrando que ambas señales, la de barrido y la de disparo, tengan la misma frecuencia y la misma fase. La fuente de la señal de disparo, interna o externa, se selecciona mediante el interruptor "SOURCE" (fuente) del osciloscopio.

La señal de barrido propiamente dicha la genera el circuito de deflexión horizontal. La salida de este último excita las placas horizontales. El período exacto de la señal de barrido lo programa el usuario mediante el *control de base de tiempo* del osciloscopio. Este control está usualmente etiquetado como "SEC/DIV" (segundos por división).

## Osciloscopios de doble trazo o de dos canales

Los osciloscopios de doble trazo permiten visualizar simultáneamente dos imágenes diferentes en la misma pantalla. Utilizando preamplificadores verticales para recibir las señales de entrada y un interruptor electrónico para conectar automáticamente cualquiera de los dos preamplificadores al amplificador vertical.

Existen básicamente dos modos de operación de un osciloscopio de doble trazo: el modo alternado y el modo troceado o chopper. El modo alternado (ALT) es apropiado para visualizar señales de alta frecuencia y el chopper (CHOP) para visualizar señales de baja frecuencia. En ambos casos se aprovecha el fenómeno de la persistencia de las imágenes en la retina del ojo.

## Manejo del osciloscopio paso a paso

El osciloscopio es uno de los instrumentos de medición y prueba más importantes que se pueden poseer para el trabajo en circuitos de radio y comunicaciones. Para lograr aprovechar al máximo sus posibilidades, es importante aprender a manejarlo correctamente.

En esta sección se presentan las reglas básicas de utilización del mismo. Tomaremos como ejemplo el sencillo osciloscopio de dos canales mostrado en la figura A22.

Observe que la pantalla se caracteriza por poseer una rejilla calibrada llamada *grátula*. La grátula la conforman 10 x 8 cuadros de 1 cm de lado cada uno. Las medidas de tiempo y de voltaje de la señal visualizada sobre la grátula se efectúan interpretando adecuadamente los controles de atenuación vertical y de base de tiempo.

El control de atenuación vertical (VOLTS/DIV) se utiliza para acondicionar la señal de entrada a los re-

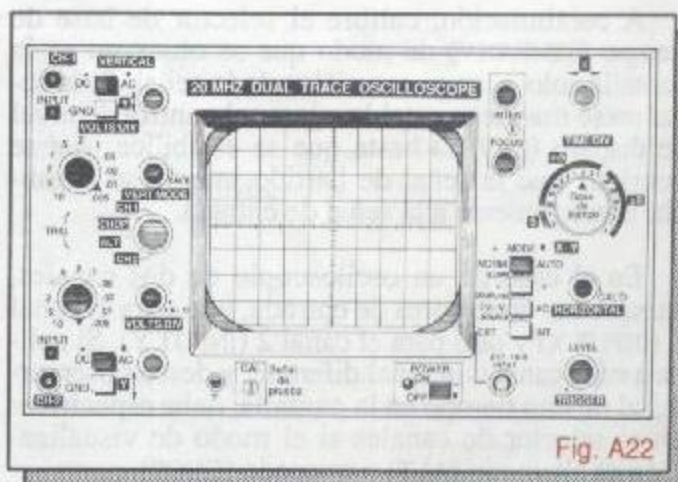


Fig. A22



quisitos del amplificador vertical. El atenuador vertical posee generalmente un control auxiliar no calibrado (CAL'D) que se utiliza para alterar la amplitud original de la imagen en la pantalla.

El control de base de tiempo (SEC/DIV) se utiliza para establecer el período de la señal de barrido generada por el circuito de deflexión horizontal. Posee también un control auxiliar no calibrado (CAL'D) que se utiliza para alterar el período original.

Para la realización de medidas exactas de voltaje y de tiempo, los controles no calibrados se deben girar completamente hacia la derecha. Para proceder a la visualización de una determinada forma de onda en la pantalla, y realizar mediciones sobre esta imagen, siga estos pasos:

1. Conecte el osciloscopio a la red de CA y oprima el botón de encendido (POWER). El osciloscopio debe conectarse al voltaje especificado por el fabricante en el manual de operación, 110 ó 220 V.

2. Obtenga sobre la pantalla un trazo horizontal. Sitúe el selector de disparo (MODE) en la posición AUTO (automático), el de fuente (SOURCE) en la posición INTERNAL (interna), el de base de tiempo (TIME/DIV) en una posición intermedia y los controles de posición de trazo horizontal (X) y vertical (Y) a mitad de rango.

Ajuste entonces el control de intensidad (INTENSITY) y manipule los controles de posición X e Y hasta que aparezca el trazo. Utilice el control de enfoque (FOCUS) para mejorar la nitidez del trazo y mantenga la intensidad tan baja como sea posible.

3. Una vez obtenido el trazo, céntrelo en la pantalla mediante los controles de posición X y Y. Inyecte la señal por medir al conector de entrada (INPUT) y especifique si es continua (DC) o alterna (AC). Calibre el selector de atenuación vertical (VOLTS/DIV) de modo que la señal visualizada quede contenida verticalmente en la pantalla.

A continuación, calibre el selector de base de tiempo (TIME/DIV) de modo que se observen en la pantalla solo unos pocos ciclos de la señal. Si la señal no se mantiene estable, ajuste el control de nivel de disparo (LEVEL) hasta que se estabilice. Así se consigue que la señal de barrido interna se enganche correctamente a la señal de entrada.

En el caso de un osciloscopio de dos canales, existen dos conectores de entrada, uno para el canal 1 (INPUT X) y otro para el canal 2 (INPUT Y). Si aplica a cada canal una señal diferente y desea observarlas al mismo tiempo en la pantalla, debe especificar en el selector de canales si el modo de visualización es alternado (ALT) o troceado (CHOP).

El modo de visualización depende de la base de tiempo seleccionada. En general, el modo alternado (ALT) se utiliza con bases de tiempo inferiores a 1 mseg/div y el troceado o chopper (CHOP) con bases de tiempo iguales o superiores a ese valor.

4. Especifique las características de disparo de la señal de barrido. La mayoría de osciloscopios admiten dos modos de disparo, automático (AUTO) y NORMAL. El automático es el más utilizado.

El disparo automático puede ocurrir con los flancos de subida (+) o de bajada (-) de la señal de entrada, dependiendo de la posición del control de pendiente (SLOPE). El disparo manual puede ocurrir en cualquier punto específico de la forma de onda.

5. Con la señal correctamente posicionada en la pantalla y una vez especificadas las características de disparo, proceda a interpretar y medir la imagen que está viendo. Consideremos el caso sencillo de una onda seno como la mostrada en la figura A23. Supongamos que la atenuación vertical es 0.5 V/div y que la base de tiempo es de 50  $\mu$ seg/div.

El voltaje pico a pico ( $V_{pp}$ ) se encuentra fácilmente contando el número de divisiones verticales entre el pico positivo y el pico negativo de la señal, y multiplicando este número por el valor de la atenuación vertical. En este caso hay 4 divisiones entre los picos. Puesto que la atenuación vertical es 0.5 V/div, la amplitud pico a pico de esta señal es simplemente  $V_{pp} = 4 \times 0.5 = 2$  V.

Para conocer la frecuencia (f) de esta señal, debe primero conocerse su período (T). El valor de T se encuentra fácilmente contando el número de divisiones horizontales entre dos picos consecutivos y multiplicando este número por el valor de la base de tiempo. En este caso, hay 5 divisiones entre los dos picos positivos.

Puesto que la base de tiempo es 50  $\mu$ seg/div, el período de la señal es simplemente  $T = 5 \times 50 = 250$   $\mu$ seg y su frecuencia es  $f = 1/T = 4$  KHz.

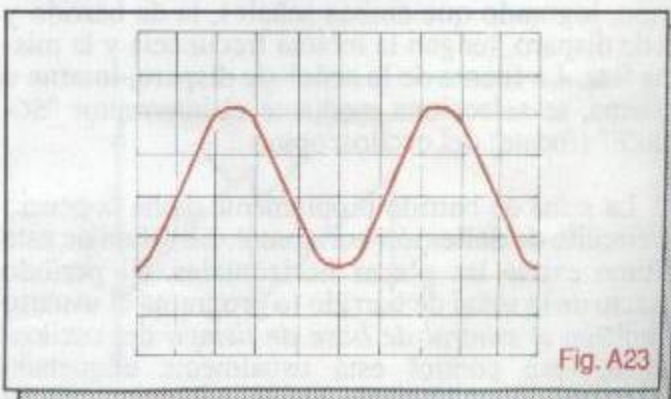


Fig. A23

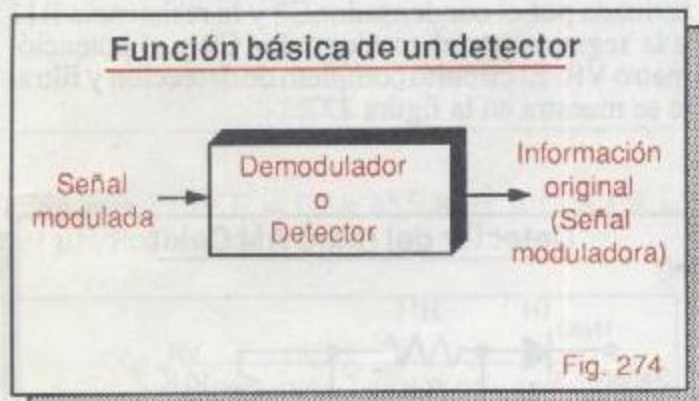


## La etapa detectora

Como usted lo habrá notado, el estudio y ensamble del radio CEKIT lo estamos realizando de derecha a izquierda en cuanto a sus etapas se refiere. Ya estudiamos y ensamblamos la etapa "Amplificador de audio" y ahora estudiaremos la etapa detectora. Al final tendremos el radio completo funcionando y conoceremos todos los detalles sobre su teoría y ensamble en ese orden.

### Circuitos detectores

Los detectores o demoduladores (figura 274) son circuitos que recuperan la información de baja frecuencia (modulación o audio) de una señal modulada y eliminan la componente de alta frecuencia o portadora de la misma. La señal de salida suministrada por un detector conserva las mismas características de la señal moduladora original.



Todos los detectores efectúan la misma función básica descrita anteriormente pero cada uno tiene características propias, dependiendo del proceso de modulación utilizado. Existen, por lo tanto, detectores de AM, de FM, de SSB, etc. En este capítulo nos referimos exclusivamente a los detectores de AM y, específicamente, al detector utilizado en el radio AM CEKIT.

### Características de los detectores

Las características más notables de un detector son su linealidad, su sensibilidad, su selectividad y su capacidad.

La linealidad se refiere a la habilidad de reproducir fielmente, sin distorsión, la señal original. La sensibilidad es la capacidad de detectar señales pequeñas. La selectividad es la capacidad de responder únicamente a una determinada banda de frecuen-

cias. La capacidad se refiere a la habilidad para manejar señales grandes, sin producir distorsión ni sobrecarga.

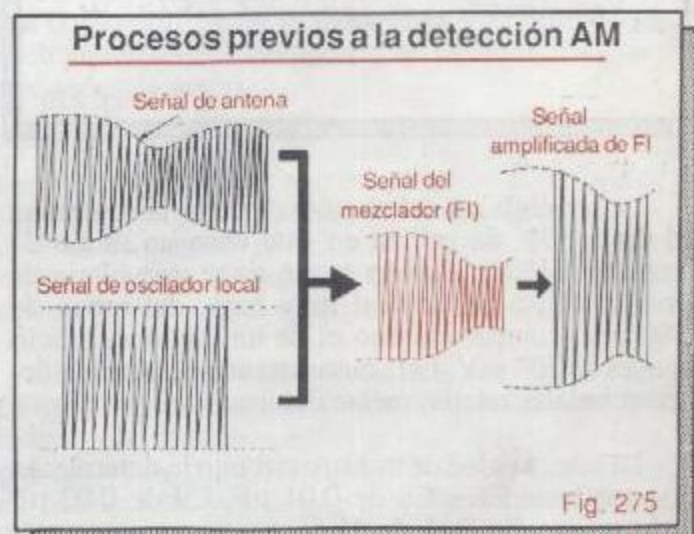
### El proceso de detección AM

Como sabemos, la salida de la etapa amplificador-mezcladora de RF es una señal que tiene la misma información de audio (modulación) de la señal de RF originalmente enviada por la emisora sintonizada pero con una frecuencia de 455 KHz. A esta frecuencia se le denomina frecuencia intermedia o FI.

La señal de FI se amplifica en dos etapas con el fin de hacerla lo suficientemente fuerte como para ser detectada y superar así el voltaje de umbral impuesto por el diodo detector. La detección consiste en separar la señal moduladora de audio de la señal portadora de FI.

Como consecuencia de este doble proceso de amplificación de FI, a la salida de la segunda etapa de FI se tiene una señal de 455 KHz que tiene la misma información de audio de la señal de RF original.

Hasta el momento, la señal de RF originalmente sintonizada ha pasado por dos procesos: el de mezcla y el de amplificación de FI. Durante el primero, se cambió su frecuencia y durante el segundo se aumentó su amplitud. Sin embargo, en ambos casos, se ha conservado la información fundamental de audio (modulación). El proceso se describe gráficamente en la figura 275.



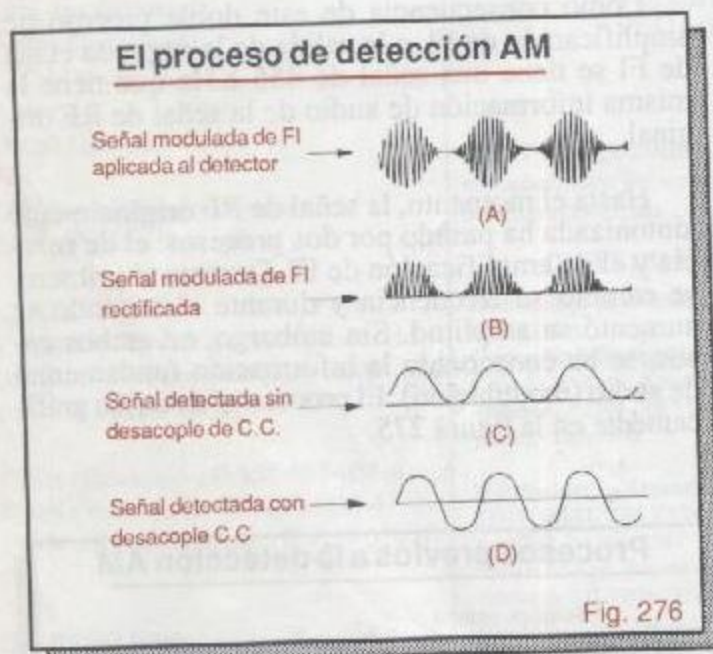


La modulación de la señal de FI contiene la información de audio (palabras, música, etc.) que deseamos reproducir en el parlante de nuestro receptor de radio.

La componente de alta frecuencia de la señal de RF se usa solo como una *portadora* que lleva la señal de audio desde la antena transmisora hasta el receptor. La componente de alta frecuencia de la señal de FI se usa también como una portadora que transporta la señal de audio a través de las dos etapas amplificadoras de FI.

Una vez completado el proceso de amplificación de FI, la portadora de 455 KHz ya no es necesaria. La función del detector es precisamente detectar o extraer la información de audio (señal de modulación) y eliminar la portadora de FI.

El proceso de detección se realiza rectificando primero la señal compuesta de FI mediante el diodo D1 y filtrando a continuación la señal resultante mediante una red RC formada por la resistencia R11 y los condensadores C8 y C9. El proceso de detección se ilustra gráficamente en la figura 276.



La sensibilidad del circuito detector la determina el diodo D1. Se utiliza en este caso un diodo de germanio 1N60, debido a que tiene un voltaje de conducción o de umbral muy bajo, del orden de 300 mV, comparado con el de un diodo de silicio que es de 700 mV. Esta circunstancia le permite detectar señales relativamente débiles.

La selectividad de nuestro circuito la determinan los condensadores C8 de 0.01  $\mu\text{F}$ , C9 de 0.02  $\mu\text{F}$  y la resistencia R11 de 1K $\Omega$ . Como veremos más

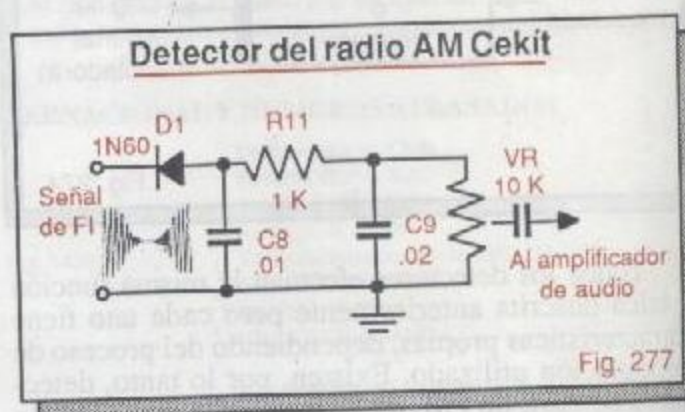
adelante, estos componentes configuran un filtro pasabajo que rechaza señales fuera de la banda de audio cuyas frecuencias están entre 20 Hz y 20 KHz.

### Cómo opera la red filtradora de FI

Si no dispusiéramos de la red filtradora RC anterior, en el ánodo del diodo detector D1, observaríamos una señal como la que se muestra en la figura 276B, consistente en un tren de pulsos de RF de frecuencia constante y amplitud variable. Las variaciones de amplitud corresponden a la información de audio que deseamos recuperar.

El condensador C8, se carga al valor pico de cada pulso cuando el diodo conduce y se descarga parcialmente a través de la resistencia R11 y el potenciómetro VR cuando no conduce. El voltaje a través de C8, es un voltaje de CC variable que tiene la misma forma de onda de la modulación original de audio.

La red filtradora utilizada en el detector del radio AM CEKIT, es fundamentalmente un filtro RC pasa bajo de dos secciones. La primera sección está formada por el condensador C8 y la resistencia R11 y la segunda por el condensador C9 y el potenciómetro VR. El circuito completo de detección y filtraje se muestra en la figura 277.



El condensador C8 presenta una reactancia capacitiva ( $X_C$ ) muy baja, a la componente de alta frecuencia de la señal rectificada. Esta reactancia es del orden de 35  $\Omega$ , como se comprueba en el ejemplo 1. Este valor es muy pequeño comparado con el de la resistencia R11 de 1K $\Omega$ .

Como consecuencia de lo anterior, la componente de alta frecuencia o portadora de FI, se deriva casi por completo a tierra a través de C8. La componente de baja frecuencia o modulación, encuentra en C8 una alta reactancia y por lo tanto no se deriva a tierra sino que continúa en dirección del amplificador de audio.



La reactancia capacitiva ofrecida por C8, a la componente de audio, es siempre mayor que el valor de R11.

Para una frecuencia de modulación de 1 KHz, por ejemplo, esta reactancia es del orden de 16 K $\Omega$ , como se comprueba en el ejemplo 2.

*Recordemos que la máxima frecuencia de modulación que se puede enviar por AM es de 4.5 KHz.*

**Ejemplo 1.** Calcular la impedancia o reactancia capacitiva a tierra que ofrece el condensador C8 de la red filtradora de FI, a la componente de alta frecuencia presente en el ánodo del detector de la figura 277.

Note que C8 = 0.01  $\mu$ F y recuerde que FI=455 KHz.

**Solución.** La reactancia capacitiva u oposición que presenta un condensador al paso de una señal de corriente alterna se calcula de acuerdo a la fórmula :

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times F \times C}$$

$$X_C = \frac{1}{6.28 \times F \times C}$$

En este caso, F = FI = 455 KHz y C = C8 = 0.01  $\mu$ F. Por lo tanto:

$$X_C = \frac{1}{6.28 \times 455 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6}}$$

$$X_C = 34.9 \Omega \approx 35 \Omega$$

**Ejemplo 2.** Calcular la reactancia capacitiva que ofrece el condensador C8 de la red filtradora de FI a una señal de modulación de 1 KHz presente en la salida del detector de la figura 277.

**Solución.** La reactancia capacitiva la calculamos nuevamente mediante la fórmula:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times F \times C}$$

$$X_C = \frac{1}{6.28 \times F \times C}$$

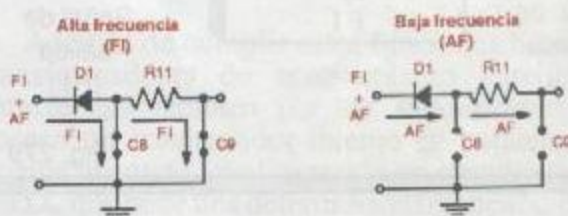
En este caso, F = 1 KHz y C = C8 = 0.01  $\mu$ F. Por lo tanto:

$$X_C = \frac{1}{6.28 \times 1 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6}}$$

$$X_C = 15923 \Omega \approx 16 K\Omega$$

Resumiendo, el condensador C8 presenta una muy baja oposición o reactancia al paso de la componente de alta frecuencia implícita en la señal modulada de FI, y, una muy alta al paso de la componente de audio de la misma. En consecuencia, C8 envía a tierra la portadora de FI y deja pasar la señal de audio. Figura 278.

### Circuitos equivalentes del detector



C8 y C9 se comportan como cortocircuitos para la componente de alta frecuencia (FI) C8 y C9 se comportan como circuitos abiertos para la componente de baja frecuencia (AF)

Fig. 278

El condensador C9 envía a tierra cualquier rastro de la portadora de FI que no haya sido filtrado por C8. El potenciómetro VR (control de volumen) actúa como divisor de tensión de la señal modulada, entregando un determinado nivel de la misma al amplificador de audio.

La consideración de diseño más importante del detector es garantizar que la constante de tiempo del filtro RC tenga un valor intermedio entre la duración de un ciclo de FI ( $\approx 2 \mu$ seg) y la duración de un ciclo promedio de audio (1 mseg ó 1000  $\mu$ seg). En este caso, RC  $\approx$  (R11+VR)  $\times$  C8  $\approx 110 \mu$ seg.

Si este valor es muy grande, C8 se cargará y descargará muy lentamente y si es muy pequeño, lo hará muy rápidamente. En el primer caso, sería incapaz de seguir fielmente la modulación de audio y, en el segundo, seguiría la señal de FI y no habría detección.



# Etapas amplificadoras de frecuencia intermedia (FI)

## Introducción

Un amplificador de frecuencia intermedia o FI (figura 279) es esencialmente un amplificador de RF o radiofrecuencia de banda estrecha o sintonizado, que amplifica una banda muy limitada de frecuencias alrededor de una misma frecuencia central. En nuestro caso, esta frecuencia central es de 455 KHz, la FI del proceso heterodino AM, y el ancho de banda no excede de 9 KHz.



Idealmente, un amplificador de FI para AM debería tener una respuesta de frecuencia como la que se muestra en la figura 280A. En la práctica, la respuesta de frecuencia es solo una aproximación a este modelo ideal (figura 280B).



El nombre de FI se debe al hecho de que amplifica frecuencias intermedias o sea frecuencias que están en un punto intermedio entre la frecuencia de la portadora original de RF y la frecuencia de la señal de modulación.

Puesto que los amplificadores de FI son amplificadores sintonizados de RF, vamos a estudiar a continuación la teoría general de estos últimos. Posteriormente, se analizarán los amplificadores de FI del radio AM CEKIT, como una aplicación práctica de esta teoría.

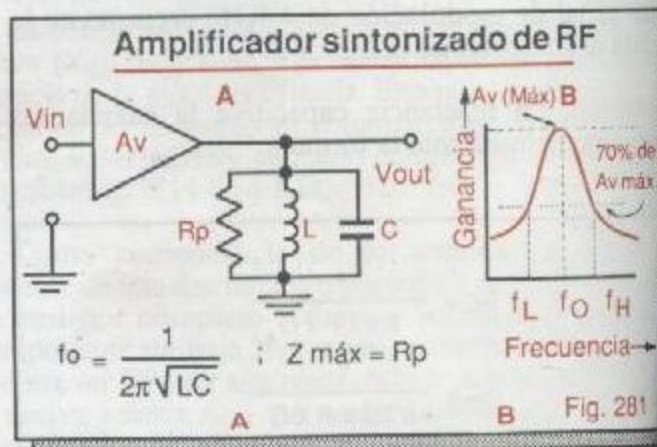
## Amplificadores sintonizados de RF

Los amplificadores de RF se utilizan para amplificar señales que tienen frecuencias por encima de 30 KHz. Son similares en muchos aspectos a los amplificadores de audio pero se caracterizan por ser selectivos, esto es, se diseñan para amplificar una banda estrecha de frecuencias alrededor de una frecuencia central para la cual están sintonizados.

En general, los amplificadores sintonizados de RF se componen de dos partes: el amplificador propiamente dicho y la red de sintonía.

La sintonización la proveen generalmente circuitos resonantes RLC como los estudiados en la Lección 12. En algunos casos especiales, se utilizan cristales de cuarzo para conseguir el mismo efecto y proveer mayor estabilidad. La amplificación de las señales de RF como tales, se realiza mediante transistores, FETs, etc.

En la figura 281A se muestra el diagrama simplificado de un amplificador de RF que utiliza un circuito sintonizado RLC paralelo como carga. A la frecuencia de resonancia, el circuito presenta su máxima impedancia posible y, en consecuencia, bajo esta circunstancia, la ganancia de voltaje del amplificador es máxima (figura 281B).



$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} ; Z_{\text{máx}} = R_p$$



Dependiendo de su aplicación, los amplificadores sintonizados pueden tener un circuito de sintonía a la entrada, a la salida, o tanto a la entrada como a la salida. Estos circuitos son los que determinan la frecuencia central y el ancho de banda del amplificador.

Los amplificadores de FI del radio AM CEKIT son sintonizados a la salida. La frecuencia central es de 455 KHz y el ancho de banda es de 9 KHz aproximadamente. Otras características importantes de los amplificadores sintonizados son su ganancia y su factor de ruido.

La ganancia de los amplificadores de FI es variable porque depende del nivel de señal captado a la entrada: las señales débiles necesitan más amplificación que las señales fuertes. La cantidad de amplificación requerida en cada caso la gobierna el control automático de ganancia (CAG), circuito que estudiaremos más adelante.

### Los amplificadores de FI del radio AM CEKIT

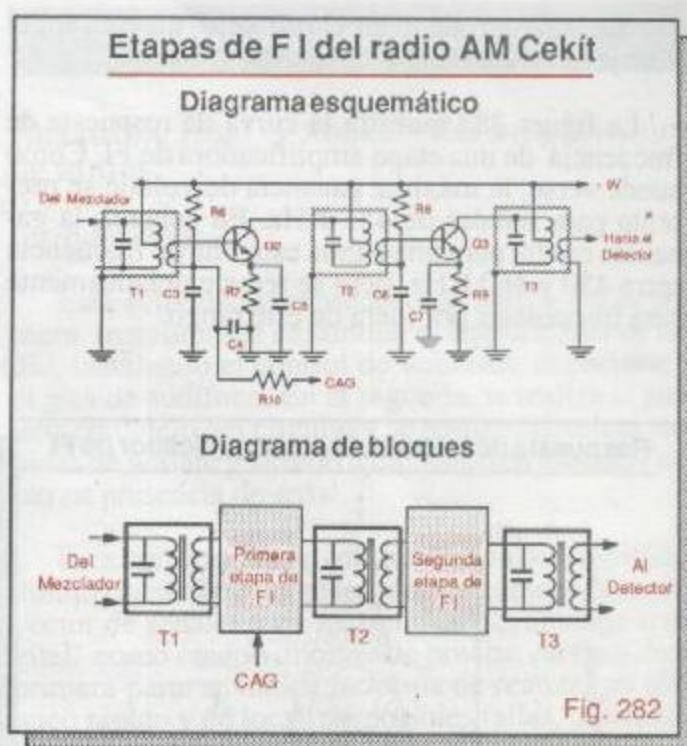
Como se explicó en la Lección 21, a la salida del conversor de RF de nuestro receptor obtenemos una señal modulada de FI de 455 KHz. Esta señal lleva la misma información fundamental de audio (modulación) de la portadora original, pero es demasiado débil como para excitar el detector o demodulador.

El propósito de las etapas amplificadoras de frecuencia intermedia es reforzar la amplitud de la señal suministrada por el mezclador y entregarla con el nivel apropiado a la entrada del detector de audio. La señal que ingresa a los amplificadores de FI es del orden de los milivoltios y la que sale es de algunos voltios.

La amplificación de la señal modulada de FI se realiza en dos etapas acopladas magnéticamente, llamadas primera etapa de FI y segunda etapa de FI, respectivamente. En la figura 282 se muestra el circuito correspondiente.

El término *acoplamiento magnético* se refiere al hecho de que la transferencia de señales entre el mezclador y la primera etapa de FI, así como entre la primera y la segunda y entre ésta y el detector, se realiza a través de transformadores de acoplamiento.

Los transformadores de acoplamiento utilizados por las etapas amplificadoras de FI se han llamado T1, T2 y T3. El transformador T1, que se identifica por su núcleo amarillo, transfiere la señal del conversor a la primera etapa de FI. El transformador T2, con núcleo blanco, transfiere la señal de la primera etapa de FI a la segunda. El transformador



T3, con núcleo negro, transfiere la señal de la segunda etapa de FI al detector.

Además de cumplir estas funciones básicas, los transformadores de acoplamiento anteriores se caracterizan también por ser *sintonizados*. Todos poseen un condensador interno en paralelo con la bobina primaria, configurando un circuito de sintonía LC que tiene una determinada frecuencia de resonancia.

La frecuencia de resonancia de estos circuitos se ajusta variando la posición del núcleo dentro del transformador. De este modo, se altera la inductancia L del tanque resonante. En nuestro caso, debemos calibrar los transformadores T1, T2 y T3 para que presenten una frecuencia de resonancia de 455 KHz, o sea igual al valor de la FI.

Bajo estas condiciones, la ganancia de voltaje de cada una de las etapas amplificadoras de FI será máxima para las señales que tengan una frecuencia igual a 455 KHz, y muy baja para las señales de otras frecuencias.

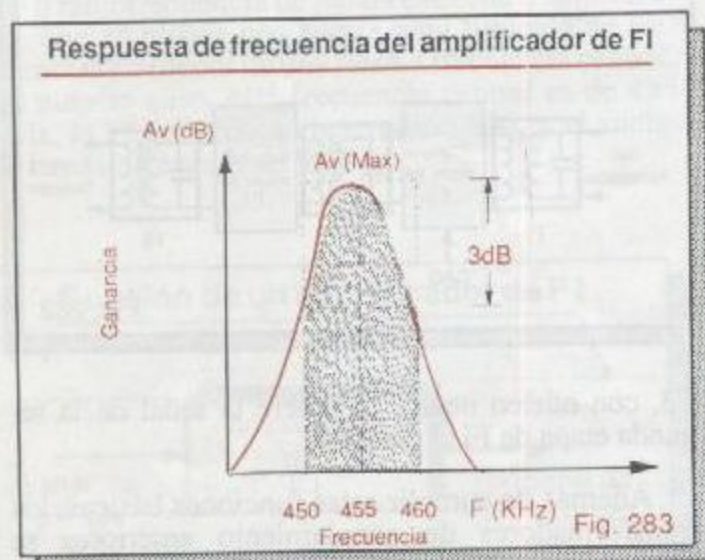
Esto es así, porque un circuito resonante paralelo ofrece la máxima respuesta (máxima impedancia) a señales incidentes con frecuencias iguales a su frecuencia natural de resonancia, y atenúa señales de otras frecuencias.

Por consiguiente, si cada transformador está sintonizado a la FI, cada uno presentará muy alta impedancia a las señales de 455 KHz, y permitirá que las mismas desarrollen en los extremos de la bobina primaria una gran caída de voltaje. Entre mayor sea



el voltaje desarrollado en el primario, mayor será el voltaje inducido en el secundario.

La figura 283 muestra la curva de respuesta de frecuencia de una etapa amplificadora de FI. Como puede verse, la máxima ganancia de voltaje se presenta para señales de 455 KHz. En general, la ganancia es alta para una banda estrecha de frecuencia entre 450 y 460 KHz, pero se reduce drásticamente para frecuencias por fuera de este rango.



Otra función importante de los transformadores de FI T1, T2 y T3, es la de acoplar la alta impedancia de colector de la etapa precedente con la baja impedancia de base de la etapa siguiente. El correcto acoplamiento de impedancias entre etapas es imprescindible para garantizar la máxima transferencia de señal.

En nuestro caso, se hace necesario acoplar entre sí las diferentes etapas, porque los transistores trabajan en la configuración emisor común y, en consecuencia, tienen una impedancia de salida relativamente alta, del orden de 50 K $\Omega$ , y una impedancia de entrada relativamente baja, del orden de 1 K $\Omega$ .

### Operación de las etapas amplificadoras de FI

Como consecuencia del batido de frecuencia de las señales producidas por el oscilador local y la suministrada por el amplificador de RF, en el mezclador se produce toda una gama de señales, incluyendo las que tienen las mismas frecuencias originales, las que tienen una frecuencia igual a la suma de ambas y las que tienen una frecuencia igual a su diferencia.

Sin embargo, el circuito de salida del mezclador, constituido por el transformador T1, está sintonizado para responder a la señal de batido que tiene una

frecuencia igual a la diferencia entre las frecuencias local y de antena. Esta frecuencia es precisamente la frecuencia intermedia o FI del proceso (455 KHz).

En consecuencia, en el secundario de T1 se induce únicamente la señal de FI. Esta señal, a pesar de tener una frecuencia diferente a la de la portadora original, conserva su misma modulación. Sin embargo, no es lo suficientemente fuerte como para ser detectada. Por consiguiente, debe ser amplificada.

Consideremos nuevamente el circuito de la figura 282. La débil señal de FI presente en el secundario de T1 se aplica a la base de Q2. Este transistor la amplifica y la envía a su circuito sintonizado LC de salida, formado por el primario de T2 y el condensador interno.

Este circuito, sintonizado a 455 KHz, actúa como carga del primer amplificador de FI. Su impedancia es máxima a esta frecuencia, lo mismo la ganancia de tensión de la etapa y el voltaje de la señal desarrollada en el primario de T1.

La señal proveniente de la primera etapa de FI se induce en el secundario de T2 y se aplica a la base de Q3, el segundo amplificador de FI. Nuevamente, este transistor amplifica la señal de entrada y la envía al transformador T3, el cual está también sintonizado a 455 KHz y ofrece la máxima respuesta a esta frecuencia.

La señal de salida de la segunda etapa de FI se induce en el secundario de T3 y se aplica al cátodo del diodo detector D1.

### Polarización de los transistores de FI

El voltaje directo de polarización de la base de Q2 lo establece el divisor resistivo formado por R6 y R10. En particular, R6 está conectado al positivo de la fuente de alimentación y R10 a la salida del detector, actuando como control automático de ganancia (CAG). El CAG se estudia en detalle en otra lección de este curso.

El efecto de la resistencia del CAG, R10, es permitir que la ganancia de voltaje del transistor Q2 varíe en relación con la potencia de la señal de RF sintonizada, de tal modo que sea grande para señales débiles y se reduzca para señales fuertes.

De este modo, todas las señales captadas se escuchan al mismo volumen.

El voltaje inverso de polarización del colector de Q2 lo toma este transistor del positivo de la fuente a través de la línea central del primario de T2. Como



se ha dicho, la carga de este transistor es el circuito sintonizado de 455 KHz formado por la bobina primaria de T2 y su condensador interno.

El transistor Q2 amplifica la señal de FI presente en la base y la envía a la bobina primaria de T2.

La señal presente en esta última se induce en el secundario de T2 y se aplica a la base de Q3, el segundo amplificador de FI.

El voltaje directo de polarización de la base de Q3 se obtiene del positivo de la fuente a través de R8.

El condensador C6 es un capacitor de derivación, que permite el paso de la corriente de señal mientras mantiene la polarización de corriente continua.

Por esta razón, la señal inducida de FI se desarrolla entre la base de Q3 y tierra.

La resistencia R9 entre el emisor de Q3 y tierra, tiene por finalidad limitar la corriente de colector de este transistor, a un valor seguro.

Además, contribuye a la estabilización de la polarización de la juntura base-emisor del mismo.

La corriente de colector produce una caída de voltaje a través de R9. El voltaje de polarización de la juntura BE de Q3, es la diferencia entre el voltaje de la base y la caída desarrollada a través de R9.

El condensador C7 es un capacitor de derivación que se comporta como un cortocircuito para las variaciones de señal, provenientes de la base de Q3.

De este modo, evita que el voltaje de polarización de la juntura BE siga las fluctuaciones de la señal de FI y se afecte el punto de trabajo del amplificador.

La carga del transistor Q3 es el circuito sintonizado formado por la bobina primaria de T3 y su capacitor interno.

Por lo tanto, Q3 provee máxima amplificación de la señal de FI presente en su base y la envía al primario de T3.

Esta señal modulada y amplificada de 455 KHz se induce en el secundario de T3 y se inyecta al cátodo del diodo detector D1.

En el análisis de los circuitos correspondientes a las etapas amplificadoras de FI, mediremos la ganancia de voltaje de cada etapa y los diferentes voltajes de polarización de cada transistor.

## Actividad práctica N° 13

### Ensamble final y análisis del amplificador de audio

#### Introducción

Esta actividad comprende dos partes. En la primera, se termina de ensamblar el amplificador de audio, instalando el control de volumen, el parlante y el jack de audífono. En la segunda, se realiza el análisis completo del circuito y se realizan diversas medidas de voltaje y de corriente, tanto en ausencia como en presencia de señal.

Para verificar la correcta operación del amplificador, necesitará de un generador de audio o de un inyector de señales y de un multímetro, análogo o digital, como equipo mínimo de prueba. Al final de la primera parte se indica la forma de realizar un chequeo rápido y de localizar posibles fallas, utilizando estos instrumentos.

Durante el análisis se profundiza en estos conceptos y se realiza el seguimiento y medición de las diferentes condiciones de polarización y formas de onda presentes en el proceso, desde la entrada del preamplificador hasta la salida del amplificador de potencia. Para este estudio, es conveniente disponer también de un osciloscopio.

#### Terminando el ensamble del amplificador de audio

En esta actividad, vamos a conectar los componentes necesarios para terminar completamente la etapa amplificadora de audio.

Después de hacerlo y verificarlo, vamos a realizar una prueba y análisis de su funcionamiento en donde comprobaremos en la práctica, la teoría estudiada sobre este importante tema.

Conectaremos primero el potenciómetro de 10 K $\Omega$  que se utiliza como control de volumen y que está marcado en el diagrama como RV 10K y que se suelda con sus cinco terminales a la izquierda, sobre las puntillas 25, 26, A2, A3 y A4 como se muestra en la figura A24.

#### Paso 1. Instalación y conexión del potenciómetro.

Coloque cuidadosamente el potenciómetro, haciendo coincidir lo mejor posible sus terminales sobre las puntillas mencionadas, y vaya soldando cada uno de ellos hasta completar la instalación.

Para un mejor resultado, estañe ligeramente los terminales del potenciómetro por debajo, antes de instalarlo sobre las puntillas. Si se suelta alguno de



## Instalación del control de volumen

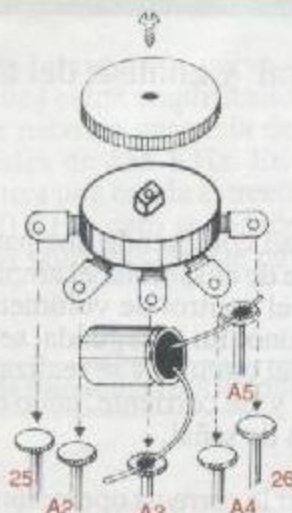


Fig. A24

los cables que estaban conectados, vuélvalos a instalar en su sitio.

Coloque ahora la perilla en el eje del potenciómetro y asegúrela con el tornillo central, haciendo coincidir la ranura especial en el eje.

**Paso 2. Instalación y conexión del conector para el audífono.** Conectaremos ahora el "jack" o conector para la salida de audífono, marcado en los diagramas como E/J.

Lo primero que se debe hacer es fijar bien con pegante, el conector para audífono sobre la superficie de la lámina. Antes de pegarlo, doble el terminal inferior izquierdo, completamente hacia abajo, de tal manera que al instalarlo, este terminal toque la puntilla A30.

Después de pegar el conector, suelde directamente sus terminales a las puntillas indicadas. Limpie cuidadosamente y caliente bien las dos superficies con el fin de que las soldaduras queden bien hechas.

Conecte ahora un cable entre el terminal inferior derecho del conector a la puntilla A28, fijándose que esta conexión no haga corto con el terminal inferior izquierdo.

**Paso 3. Instalación y conexión del parlante.** Antes de instalar el parlante suelde dos cables de 15 cms en sus terminales. Fije con el pegante, el parlante en la parte superior derecha de la tabla del radio.

Conecte los cables de éste a las puntillas A30 y A31, uniendo con el mismo cable, esta última con la puntilla A29 según se muestra en la "Guía para la instalación de componentes". Así se termina el ensamble de la etapa "Amplificador de audio".

Una vez terminado el ensamble del amplificador de audio y antes de conectar la batería de 9 voltios, verifique la correcta instalación de cada uno de los componentes y los alambres de conexión, en cada una de las puntillas correspondientes a esta etapa.

Para hacer esta revisión, siga el diagrama esquemático que está pegado en la tabla y la "Guía para la instalación de componentes", que se ha entregado con este curso.

Revise especialmente los transistores, los diodos y los condensadores electrolíticos, ya que estos componentes son polarizados, y si se conectan mal se pueden dañar y no funciona esta etapa.

## Prueba rápida del amplificador de audio

Una vez que se ha terminado el ensamble de esta etapa, debemos hacer una prueba de su correcto funcionamiento. Para hacerlo, se requiere de una fuente de señal que puede ser un generador de audio o un inyector de señales como el que se ensambló en la actividad N° 11 de este curso.

### Pasos para la prueba

**Paso 1.** Conecte la batería de 9 voltios al conector para la batería, B1.

**Paso 2.** Encienda el radio y deje la perilla en el punto inicial después de accionar el suiche. En este punto, al contrario de los controles de volumen tradicionales, éste se encuentra en la posición de máximo volumen. Si se gira completamente a la derecha, el volumen estará en el mínimo.

**Paso 3.** Conecte el terminal de tierra del generador de audio, si lo tiene, o del inyector de señal, a la línea negativa del radio, en la puntilla 18. El generador de audio debe estar ajustado para una salida de 1000 Hz.

**Paso 4.** Conecte la salida del generador de audio o del inyector de señales a la entrada de la etapa del amplificador de audio, en la puntilla A1. En este momento, si todo está bien, se debe escuchar un tono en el parlante.

Gire la perilla del control de volumen lentamente hacia la derecha. Si el tono rebaja de intensidad, la etapa amplificadora de audio está trabajando bien. Si no es así realice los siguientes chequeos en el circuito:

### Mirando componentes defectuosos

Coloque su multímetro en el modo de voltios en CC, en la gama de 10 voltios.



Instale la batería y encienda el radio. Conecte la punta negra (negativo) de su multímetro a la línea negativa de tierra (puntilla 22). A continuación, toque con la punta roja (positivo) los siguientes puntos:

**Puntilla 37:** Colector de Q5. Deberá medir 9 voltios, aproximadamente. Si no es así, chequee la batería y el interruptor del potenciómetro VR.

**Puntilla A10:** Base de Q5. Deberá medir 5.6 voltios, aproximadamente. Si no es así, chequee el parlante, las conexiones del audífono y la resistencia R13.

**Puntilla A12:** Colector de Q4. Deberá medir 4.2 voltios, aproximadamente. Si no es así, chequee los diodos D2 y D3, el condensador C12 y el transistor Q4.

**Puntilla A20:** Punto de prueba N. Deberá medir 4.9 voltios, aproximadamente. Si no es así, chequee los transistores Q5 y Q6 y los resistores R14 y R15.

### Análisis y prueba completa del amplificador de audio

El objetivo de esta actividad es analizar la operación general del amplificador de audio del radio AM CEKIT, desde el punto de vista de las corrientes y voltajes existentes en el circuito, tanto en condiciones estáticas como dinámicas.

Las condiciones estáticas o de reposo son las presentes en el circuito cuando no existe señal de entrada.

El efecto de la señal de entrada es variar las corrientes y voltajes del circuito por encima y por debajo de sus valores de reposo. A las nuevas condiciones se les denomina dinámicas.

Para realizar el análisis estático, necesitará únicamente de un multímetro, análogo o digital. Para realizar el análisis dinámico, requerirá también de un osciloscopio y un generador de funciones o generador de audio.

Si no posee este equipo adicional, las pruebas estáticas serán suficientes para determinar las condiciones de operación de su amplificador y diagnosticar posibles fallas.

### Equipo de prueba necesario

- Un multímetro SANWA TX-301 o similar.
- Un generador de funciones B&K 3010 o similar.
- Un osciloscopio LEADER LBO-514A o similar.

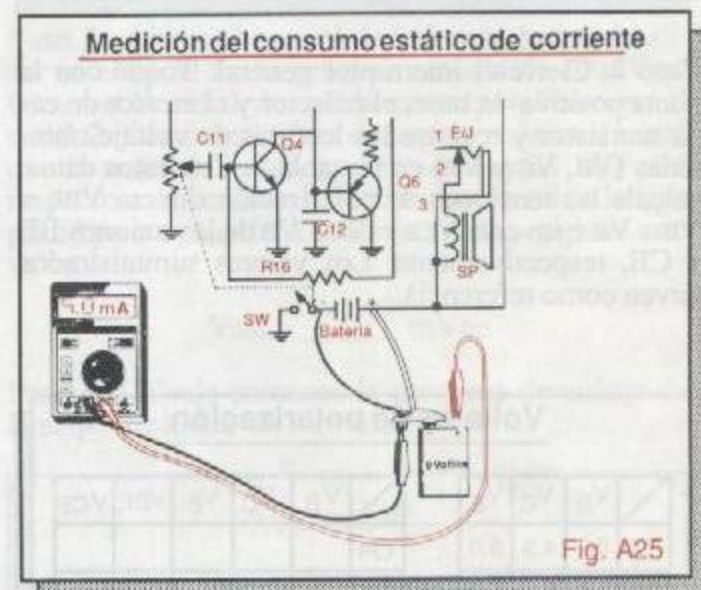
## Análisis estático

### 1. Consumo de corriente del amplificador de audio

El objetivo de esta prueba es medir la corriente consumida por el amplificador de audio en condiciones de reposo, es decir, sin señal de entrada. Si la corriente medida es muy alta, lo más probable es que exista un corto en alguna parte del circuito. Una corriente muy baja evidencia la existencia de un circuito abierto.

### Procedimiento

**Paso 1.** Sitúe el multímetro en el rango "30 mA DC" y conéctelo al circuito, como se muestra en la figura A25.



**Paso 2.** Cierre el interruptor general (SW) y registre la lectura del medidor. Nosotros obtuvimos 5 mA.

$$I_{TQ} = \text{_____ mA}$$

### 2. Voltajes de polarización

El objetivo de esta prueba es medir los voltajes de polarización ( $V_B$ ,  $V_C$ ,  $V_E$ , etc.) de los transistores Q4, Q5 y Q6. Verificaremos la polarización directa de las uniones BE y la polarización inversa de las uniones BC.

### Procedimiento

**Paso 1.** Sitúe el multímetro en el rango "12 VDC" y conéctelo al circuito como se muestra en la figura A26. Coloque la punta negativa a tierra y utilice la punta positiva para recorrer los puntos de interés.



## Medición de los voltajes de polarización

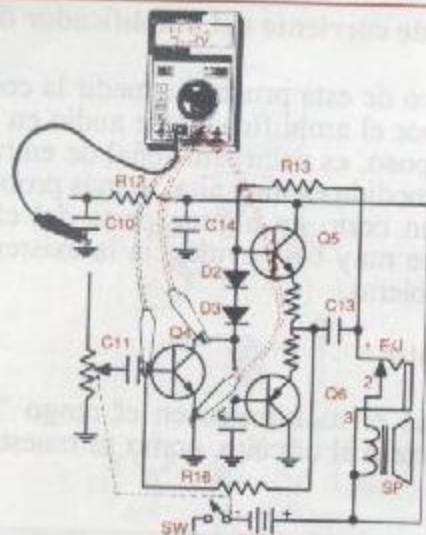


Fig. A26

**Paso 2.** Cierre el interruptor general. Toque con la punta positiva la base, el colector y el emisor de cada transistor y registre las lecturas de voltaje obtenidas ( $V_B$ ,  $V_C$  y  $V_E$ ) en la tabla 1. Con estos datos, calcule las tensiones de polarización directa  $V_{BE} = V_B - V_E$  e inversa  $V_{CB} = V_C - V_B$  de las uniones BE y CB, respectivamente. Los valores suministrados sirven como referencia.

### Voltajes de polarización

	$V_B$	$V_C$	$V_E$		$V_B$	$V_C$	$V_E$	$V_{BE}$	$V_{CB}$
Q4	0.7	4.5	0.0	Q4					
Q5	5.9	9.0	5.2	Q5					
Q6	4.5	0.0	5.2	Q6					

Nota: Valores en Voltios (V)

Tabla 1

Observe que, por tratarse de un transistor PNP, las tensiones de polarización  $V_{BE}$  y  $V_{CB}$  resultantes sobre Q6 deben ser negativas. Para Q4 y Q5 estos voltajes de polarización deben ser positivos, por tratarse de transistores NPN. El valor de  $V_{BE}$  para transistores de silicio está generalmente comprendido entre 0.6V y 0.7 V.

### 3. Corrientes de polarización

El objetivo de esta prueba es medir las corrientes de polarización ( $I_B$  e  $I_C$ ) de los transistores Q4, Q5 y Q6 y determinar la ganancia estática de corriente ( $h_{FE} = I_C / I_B$ ) de cada etapa. Las corrientes y voltajes de polarización definen el punto de trabajo y la clase de operación.

## Procedimiento

**Paso 1.** Para medir la corriente de base ( $I_B$ ) de cada transistor, despegue la base, sitúe el multímetro en el rango "60  $\mu A$  DC" y conéctelo como se muestra en la figura A27. Al final de cada medición, suelde nuevamente la base a la puntilla correspondiente.

### Corrientes de polarización

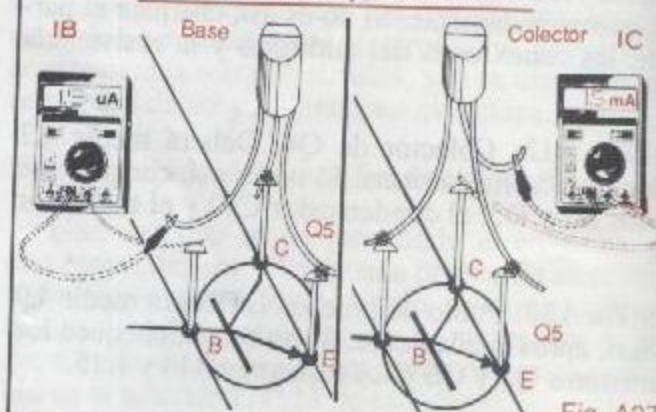


Fig. A27

Elija correctamente la polaridad de las puntas de prueba. En el caso de Q4 ó Q5, que son NPN, la punta positiva debe ir a la puntilla A5 ó A15 y la negativa a la base del transistor. En el caso de Q6, que es PNP, la punta positiva debe ir a la base y la negativa a la puntilla A16.

Consigne sus resultados en la tabla 2, columna " $I_B$ ". Los valores suministrados sirven como referencia.

### Corrientes de polarización

	$I_B$ ( $\mu A$ )	$I_C$ (mA)		$I_B$ ( $\mu A$ )	$I_C$ (mA)	$h_{FE}$
Q4	25	4.5	Q4			
Q5	1.5	9.0	Q5			
Q6	1.5	1.5	Q6			

Tabla 2

**Paso 2.** Para medir la corriente de colector ( $I_C$ ) de cada transistor, despegue el colector, sitúe el multímetro en el rango "6 mA DC" o similar, y conéctelo como se muestra en la figura A27B. Al final de cada medición, suelde nuevamente el colector a la puntilla respectiva.



Elija correctamente la polaridad de las puntas de prueba. En el caso de Q4 ó Q5, que son NPN, la punta positiva debe ir a la puntilla A8 ó A18 y la negativa al colector. En el caso de Q6, que es PNP, la punta positiva debe ir al colector y la negativa a la puntilla A22.

Consigne sus resultados en la tabla 2, columna "IC". Los valores suministrados sirven como referencia.

**Paso 3.** Con los datos obtenidos, calcule la ganancia de corriente ( $h_{FE}$ ), de cada transistor utilizando la fórmula  $h_{FE} = I_C/I_B$ . Consigne sus resultados en la tabla 2, columna " $h_{FE}$ ".

#### 4. Caídas de voltaje a través de los diodos de polarización.

El objetivo de esta prueba es medir la caída de voltaje a través de los diodos de polarización D2 y D3 del amplificador de audio. Estos diodos proporcionan estabilidad térmica a la etapa de salida.

#### Procedimiento

**Paso 1.** Sitúe el multímetro en el rango "3 V DC". Para medir la caída de voltaje en cada diodo, conecte la punta positiva al ánodo y la negativa al cátodo. Para medir la caída total, conecte la punta positiva al ánodo de D2 y la negativa al cátodo de D1.

**Paso 2.** Cierre el interruptor general. Mida inicialmente la caída de voltaje sobre D2, a continuación la caída sobre D3 y, por último, la caída total entre D2 y D3. Registre sus resultados. Deberá obtener, aproximadamente, 0.65 V sobre cada diodo y 1.3 V entre ambos.

$$V_{D2} = \text{_____ V}$$

$$V_{D3} = \text{_____ V}$$

$$V_{D2-3} = \text{_____ V}$$

### Análisis dinámico

#### 1. Ganancia de voltaje de la etapa preamplificadora

El objetivo de esta prueba es evaluar la ganancia de voltaje del preamplificador de audio y observar otras características interesantes de esta etapa. En particular, comprobaremos que la señal de salida está desfasada 180° con respecto a la señal de entrada, y que la ganancia depende estrechamente de la frecuencia.

Utilizaremos el generador de funciones como fuente de señal y el osciloscopio de dos canales co-

mo instrumento de visualización y medida. Necesitaremos también de un condensador de acople de 0.1  $\mu F$ .

#### Procedimiento

**Paso 1.** Ajuste el generador para producir una onda seno de 100 mVpp de amplitud y 1 KHz de frecuencia. Conéctelo a la entrada del amplificador de audio (punto de prueba L) a través de un condensador de 0.1  $\mu F$  como se muestra en la figura A28.

**Paso 2.** Cierre el interruptor general y gire el control de volumen completamente hacia la derecha. Conecte el canal 1 del osciloscopio a la base de Q4 y el canal 2 al colector, como se indica. Como referencia, ajuste la base de tiempo en 0.5 msec/div, la atenuación del canal 1 en 5 mV/div y la del canal 2 en 200 mV/div.

**Paso 3.** Ajuste el control de volumen hasta visualizar en el canal 1 una señal de entrada de 10 mVpp. Observe la señal de salida correspondiente en el canal 2. Compare la fase de ambas señales. Notará que la señal de salida aparece desfasada 180° con respecto a la señal de entrada. Ahora mida la amplitud pico a pico de la señal de salida y registre este valor.

$$V_{sal} = \text{_____ mVpp}$$

**Paso 4.** Calcule entonces la ganancia de voltaje de la etapa mediante las fórmulas:

$$A_V = \frac{V_{sal}}{V_{ent}}$$

$$A_V \text{ (dB)} = 20 \text{ Log } A_V$$

Consigne los resultados obtenidos. Nosotros registramos una ganancia de 136 (43 dB).

$$A_v = \text{_____} = \text{_____ dB}$$

Recuerde que esta es la ganancia del preamplificador a 1 KHz. En realidad, la ganancia y, en menor grado, la diferencia de fase, dependen de la frecuencia. Evalúe la ganancia para otras frecuencias de la gama de audio (20Hz a 20 KHz). Los valores obtenidos configuran la respuesta de frecuencia del preamplificador.

#### 2. Ganancia de potencia del amplificador de salida

El objetivo de esta prueba es determinar la ganancia de potencia del amplificador de salida para un determinado nivel de señal de entrada. Evaluaremos también la máxima potencia de salida posible.



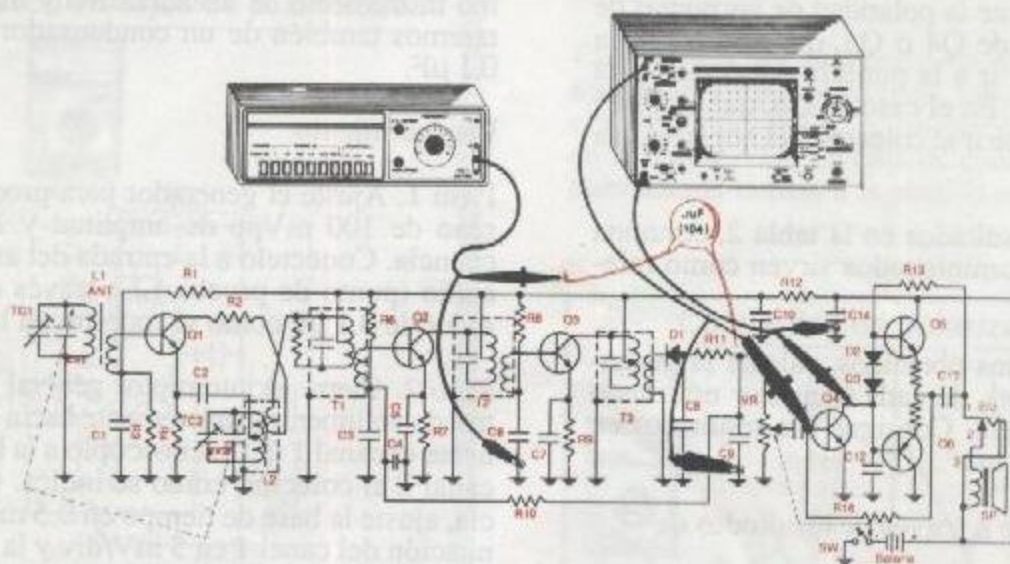


Fig. A28

## Procedimiento

**Paso 1.** Aplique con el generador de funciones una señal de 100 mVpp, 1 KHz, al punto de prueba L. Utilice un condensador de desacople de 0.1  $\mu$ F. Conecte entonces el canal 1 del osciloscopio a la base de Q4 y manipule el control de volumen hasta obtener una señal de 10 mVpp en ese punto.

**Paso 2.** Para determinar la potencia de entrada, debe medir el voltaje de entrada. Para efectos prácticos, la impedancia de entrada del amplificador puede considerarse igual a R13 (680 $\Omega$ ). La potencia se evalúa entonces utilizando la fórmula  $V^2/R$ , siendo V el voltaje rms de entrada y  $R=680\Omega$ .

Para medir el voltaje rms de entrada, sitúe el multímetro en el rango "3 VAC". Conecte la punta negativa a tierra y toque con la punta positiva el colector de Q4. Utilice la salida "OUT" para desacoplar el nivel de CC de la señal. Registre el valor medido. Nosotros obtuvimos 1.2 Vrms.

$$V_{ent} = \text{_____ Vrms}$$

Calcule entonces la potencia de entrada y registre el valor obtenido. En nuestro caso, la potencia de entrada es igual a  $1.2^2/680 = 2 \text{ mW}$ .

$$P_{ent} = \text{_____ mW}$$

**Paso 3.** Para determinar la potencia de salida, mida el voltaje de salida. La carga del amplificador es un parlante que tiene una impedancia de 8 $\Omega$ . La potencia se evalúa entonces utilizando la fórmula  $V^2/R$ , siendo V el voltaje rms de salida y  $R = 8\Omega$ .

Para medir el voltaje de salida, calibre el multímetro de la misma forma anterior pero toque con la

punta positiva el punto de prueba O (puntilla A26). Registre el valor medido. Notará que no hay amplificación de voltaje. Nosotros obtuvimos 1.1 Vrms.

$$V_{sal} = \text{_____ Vrms}$$

Calcule entonces la potencia de salida y registre el valor obtenido. En nuestro caso, la potencia de salida es igual a  $1.1^2/8 = 151 \text{ mW} = 0.15 \text{ W}$ .

$$P_{sal} = \text{_____ mW}$$

**Paso 4.** Evalúe la ganancia de potencia utilizando las fórmulas:

$$AP = \frac{P_{sal}}{P_{ent}}$$

$$y$$

$$AP \text{ (dB)} = 10 \log AP$$

En nuestro caso,  $AP = 151/2 = 75 = 19 \text{ dB}$ . Registre el valor obtenido por Ud.

$$AP = \text{_____} = \text{_____ dB}$$

**Paso 5.** Para determinar la máxima potencia de salida, gire lentamente el control de volumen hasta obtener la máxima lectura de voltaje en el punto de prueba O. Calcule entonces la potencia mediante la fórmula  $V^2/R$ , siendo V el voltaje rms máximo de salida y R la impedancia del parlante (8 $\Omega$ ). Nosotros obtuvimos  $V_{m\acute{a}x}=3.4 \text{ Vrms}$ . En consecuencia,  $P_{m\acute{a}x} = 1.5 \text{ W}$ . Registre los valores obtenidos.

$$V_{sal} \text{ (m\acute{a}x)} = \text{_____ Vrms}$$

$$P_{sal} \text{ (m\acute{a}x)} = \text{_____ W}$$



## Continuación actividad práctica N° 13

### 3. Operación del par complementario Q5-Q6

El objetivo de esta prueba es observar las formas de onda del proceso push-pull realizado en la etapa de potencia del amplificador de audio. Analizaremos también el fenómeno de la distorsión de amplitud y los efectos de la realimentación negativa.

#### Procedimiento

**Paso 1.** Retire la resistencia de  $10\ \Omega$  utilizada como carga en las pruebas anteriores y conecte en su lugar el audífono (o el parlante, si lo posee). Conecte al punto de prueba L el generador de audio y el canal 1 del osciloscopio.

Calibre la atenuación vertical en  $0.1\ \text{V/div}$  y la base de tiempo en  $0.5\ \text{mseg/div}$ . Programe el generador para suministrar en el punto L una onda seno de  $1\ \text{kHz}$  y  $300\ \text{mVpp}$  de amplitud. Observe y mida la señal correspondiente en el osciloscopio.

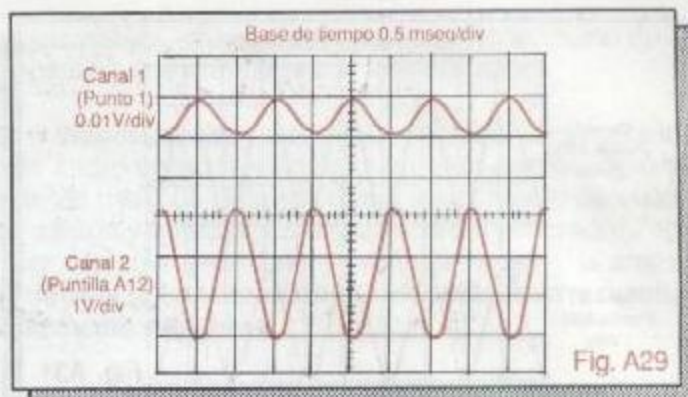
**Paso 2.** Conecte ahora el canal 1 del osciloscopio al punto de prueba J. Calibre la atenuación vertical en  $0.01\ \text{V/div}$ . Con la batería nueva instalada, manipule lentamente el control de volumen (VR) hasta obtener en ese punto una señal de  $10\ \text{mVpp}$ . Observe y mida la señal correspondiente en el osciloscopio. Deberá escuchar un tono continuo en el audífono.

**Paso 3.** Desconecte la resistencia R16 de la puntilla A17 y conecte el extremo libre al polo positivo de la batería (puntilla 32). Notará que el tono escuchado en el audífono sube de volumen y observará en el osciloscopio que la señal de entrada aplicada al punto J aumenta ligeramente de amplitud. Conecte nuevamente R16 a la puntilla A17.

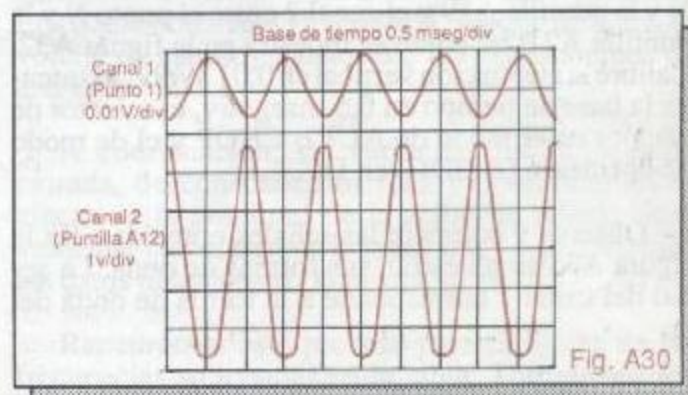
Al desconectar R16 de la puntilla A17 y conectarla a la puntilla 32 estamos eliminando la realimentación negativa que existe entre la salida y la entrada del amplificador de audio. El aumento en el nivel de la señal de entrada se interpreta como un aumento en la impedancia de entrada del amplificador.

Por consiguiente, hemos comprobado que la *realimentación negativa reduce la impedancia de entrada de un amplificador*.

**Paso 4.** Conecte ahora el canal 2 del osciloscopio a la puntilla A12 (salida del preamplificador y entrada del amplificador de potencia). Calibre la atenuación vertical en  $1\ \text{V/div}$ . Deberá observar una onda seno de cierta amplitud. Si la compara con la señal de entrada, notará que las dos señales están en oposición de fase, es decir, cuando la una es positiva, la otra es negativa y viceversa. (figura A29).



**Paso 5.** Desconecte nuevamente R16 de la puntilla A17 y conéctela a la puntilla 32 (positivo de la batería). Observe la señal resultante en el osciloscopio y compárela con la señal original. Notará que aumenta de amplitud, pero experimenta una distorsión considerable (figura A30). Conecte otra vez R16 a la puntilla A17.



El aumento en el nivel de la señal de salida, y el consiguiente aumento de la ganancia, al suspender la realimentación negativa, es una consecuencia directa del aumento de la impedancia de entrada observada en el paso 3. Sin embargo, la suspensión de la realimentación introduce distorsión.

Por consiguiente, hemos comprobado que la *realimentación negativa reduce la ganancia pero también reduce la distorsión en la señal de salida de un amplificador*.

**Paso 6.** Conecte ahora el canal 2 del osciloscopio a la puntilla A26 y el canal 1 a la puntilla A12. Calibre la atenuación vertical de ambos canales en  $1\ \text{V/div}$ . Deberá observar una onda seno de cierta amplitud. Si la compara con la señal de entrada aplicada a la puntilla A12, notará que las dos señales están en fase y tienen amplitudes similares (figura A31).

Por consiguiente, hemos comprobado que la *ganancia de voltaje del amplificador de potencia es*  
CEKIT - Curso de radio AM, FM, Banda Ciudadana y Radioafición 173



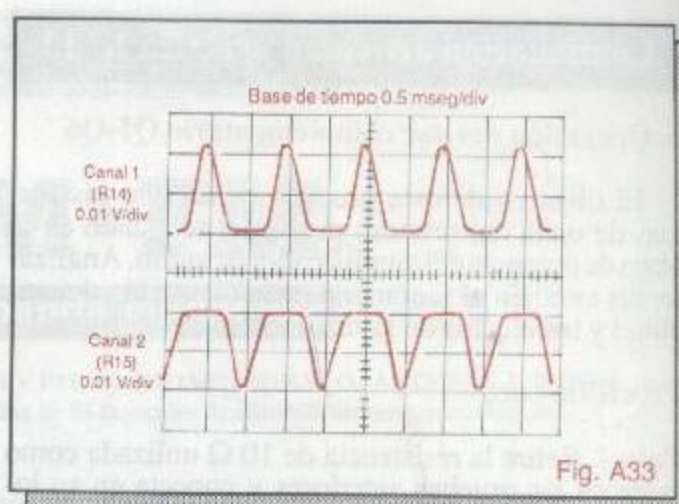


*aproximadamente igual a la unidad. Es decir, el circuito no amplifica voltaje sino corriente.*

**Paso 7.** Repita el paso 5, con la atenuación vertical de ambos canales en 2V/div. Notará otra vez distorsión en la señal de salida. Recuerde reconectar R16.

**Paso 8.** Desconecte las puntas de prueba de ambos canales. Conecte el canal 1 entre el punto de prueba N y la puntilla A19 y el canal 2 entre el punto N y la puntilla A21, tal como se muestra en la figura A32. Calibre la atenuación vertical en 0.01 V/div. Mantenga la base de tiempo en 0.5 ms/div, el selector de canales en el modo de ALT o CHOP y el de modo de operación (AC/DC) en DC.

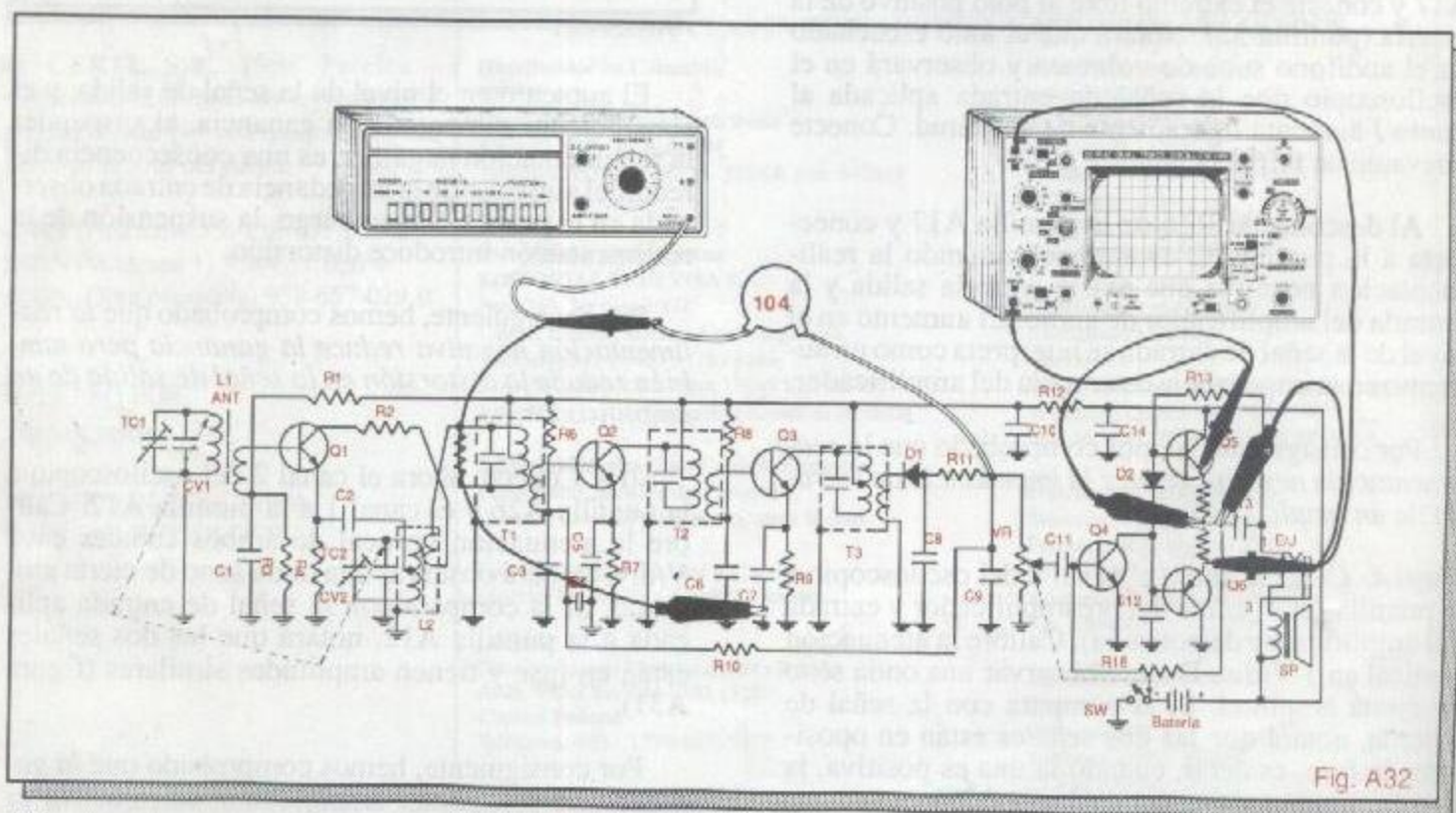
Observe y compare las señales obtenidas. En la figura A33 se muestran sus formas de onda. La señal del canal 1 corresponde a la forma de onda del



voltaje sobre R14, la resistencia de emisor de Q5, y la señal del canal 2 a la forma de onda del voltaje sobre R15, la resistencia de emisor de Q6.

Las formas de onda de las señales de corriente de emisor de Q5 y Q6 son idénticas a las de las señales de voltaje visualizadas porque, como sabemos, en una resistencia, el voltaje y la corriente están en fase. Los valores correspondientes de corriente se obtienen, de acuerdo a la Ley de Ohm, dividiendo los valores de voltaje en cada punto por el valor de R14 o R15 (0.5  $\Omega$ ).

Observe en la figura A33 que Q5 suministra corriente de salida únicamente durante los semiciclos positivos de la señal de entrada y Q6 únicamente du-

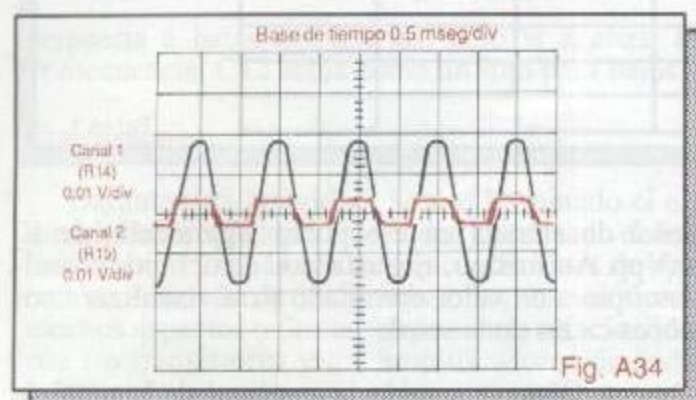




rante los negativos. Estos impulsos de corriente se superponen en el punto N y reconstruyen en su totalidad la forma de onda de la corriente de salida aplicada a la carga, representada por el audífono.

Por consiguiente, hemos comprobado que *Q5* y *Q6* efectivamente trabajan como un par complementario. Es decir, *Q5* maneja la porción positiva de la señal de entrada del amplificador de potencia y *Q6* la negativa.

Para ratificarlo aún más, superponga los niveles de referencia de las señales observadas en el osciloscopio, manipulando los controles de posición vertical. Obtendrá una onda perfectamente sinusoidal, libre de distorsión, tal como se muestra en la figura A34.



#### 4. Respuesta completa de frecuencia

El objetivo de esta prueba es determinar la respuesta completa de frecuencia del amplificador de audio, es decir, medir la ganancia de voltaje del circuito para distintos valores de frecuencias.

En particular, comprobaremos que la ganancia de voltaje depende estrechamente de la frecuencia y, lo más importante, que no es constante para todas las frecuencias posibles de señal.

Nos interesa, especialmente, lo que sucede entre 0 y 5 KHz, que es el ancho de banda ocupado por la información enviada desde una emisora AM. Los amplificadores de audio, en general, se diseñan para amplificar señales entre 0 y 20 KHz.

Realizaremos dos pruebas paralelas. La primera en condiciones normales de operación y la segunda desconectando el condensador C12. Esta última se hace con el fin de verificar la función de filtro de altas frecuencias que cumple C12.

El condensador C12 delimita el ancho de banda del circuito, evitando que amplifique también señales de alta frecuencia. Estas señales, además de ser

indeseables, provocan un aumento innecesario de la potencia consumida por el amplificador.

Necesitaremos para esta práctica un generador de audio como fuente de señal y un osciloscopio de doble trazo (2 canales) como instrumento de visualización y medida. La frecuencia del generador debe ser variable dentro de un amplio rango y la amplitud de la señal suministrada debe mantenerse razonablemente estable.

Continuaremos utilizando el audífono como carga. El procedimiento general se detalla enseguida.

Mediante el generador, aplicaremos a la entrada del amplificador una onda seno de determinada frecuencia y la visualizaremos en uno de los canales del osciloscopio. En el otro canal, observaremos la señal de salida correspondiente.

Con el condensador C12 instalado, mediremos la amplitud de las dos señales y calcularemos la ganancia de voltaje "con C12" para esa frecuencia. Los datos obtenidos (frecuencia, voltaje de entrada, voltaje de salida y ganancia) los registraremos en una tabla.

A continuación, sin variar las condiciones de entrada, desconectaremos C12 y observaremos el efecto en la amplitud de la señal de salida. Nuevamente, calcularemos la ganancia y registraremos los datos obtenidos en la misma tabla.

Repetiremos este proceso para cada una de las frecuencias solicitadas en la tabla. Tomaremos los datos de frecuencia y ganancia obtenidos y los localizaremos en una gráfica en papel logarítmico.

Los valores de frecuencia se marcan horizontalmente y los de ganancia verticalmente. Cada valor de frecuencia y ganancia determina un punto sobre la gráfica. Uniendo entre sí estos puntos, obtendremos las curvas de respuesta de frecuencia buscadas, con C12 y sin C12, y procederemos a su comparación y análisis.

#### Procedimiento

**Paso 1.** Conecte el generador de audio al punto de prueba L a través de un condensador de 0.1  $\mu$ F. Conecte a ese punto el canal 1 del osciloscopio. Calibre la atenuación vertical en 0.1 V/div y la base de tiempo en 0.5 mseg/div. Programe el generador para suministrar en el punto L una onda seno de 1 KHz y 300 mVpp de amplitud. Observe y mida la señal correspondiente en el osciloscopio.

**Paso 2.** Conecte ahora el canal 1 del osciloscopio al punto de prueba J. Calibre la atenuación vertical en 0.01 V/div. Con la batería instalada, manipule len-



**Tabla de datos para respuesta de frecuencia**

Frecuencia	Entrada (Punto J)	Con C12			Salida (Punto O)	Av	Av (dB)
		Salida (Punto O)	Av	Av (dB)			
1 KHz	10 mVpp	760 mVpp	76	38 dB	640 mVpp	64	36 dB
200 Hz							
400 Hz							
600 Hz							
800 Hz							
1 KHz							
2 KHz							
3 KHz							
4 KHz							
5 KHz							
10 KHz							
15 KHz							
20 KHz							
25 KHz							
50 KHz							
100 KHz							

Tabla 1

tamente el control de volumen (VR) hasta obtener en ese punto una señal de 10 mVpp. Observe y mida la señal correspondiente en el osciloscopio. Deberá escuchar un tono continuo en el audífono.

**Paso 3.** Conecte el canal 2 del osciloscopio al punto de prueba O. Calibre la atenuación vertical en 0.5 V/div. Observe la señal de salida y mida su correspondiente amplitud pico a pico. Calcule la ganancia de voltaje utilizando las siguientes fórmulas:

$$Av (1KHz) = \frac{V_{sal}}{V_{ent}} = \frac{\quad}{10 \text{ mVpp}} = \quad$$

$$Av \text{ dB } (1KHz) = 20 \log \frac{V_{sal}}{V_{ent}} = \quad \text{ dB}$$

Registre los valores obtenidos en la tabla 1.

**Paso 4.** Desconecte momentáneamente el condensador C12 de la puntilla 20. Observe y mida la señal de salida resultante. Calcule la ganancia de voltaje correspondiente y registre los valores obtenidos en la tabla 1.

**Paso 5.** Ajuste el control de frecuencia del generador de funciones para suministrar una señal de 200 Hz en el punto de prueba J. Si es necesario, manipule el control de amplitud para garantizar que la

señal de entrada en ese punto siga siendo de 10 mVpp. Así mismo, ajuste la base de tiempo del osciloscopio a un valor apropiado para visualizar unos pocos ciclos de la señal.

**Paso 6.** Observe y mida la amplitud de la señal de salida resultante en el canal 2 del osciloscopio. Si es necesario, ajuste la atenuación vertical a un valor apropiado para visualizar completamente la señal. Calcule la ganancia de voltaje correspondiente y registre los valores obtenidos en la tabla 1.

**Paso 7.** Repita el paso 4.

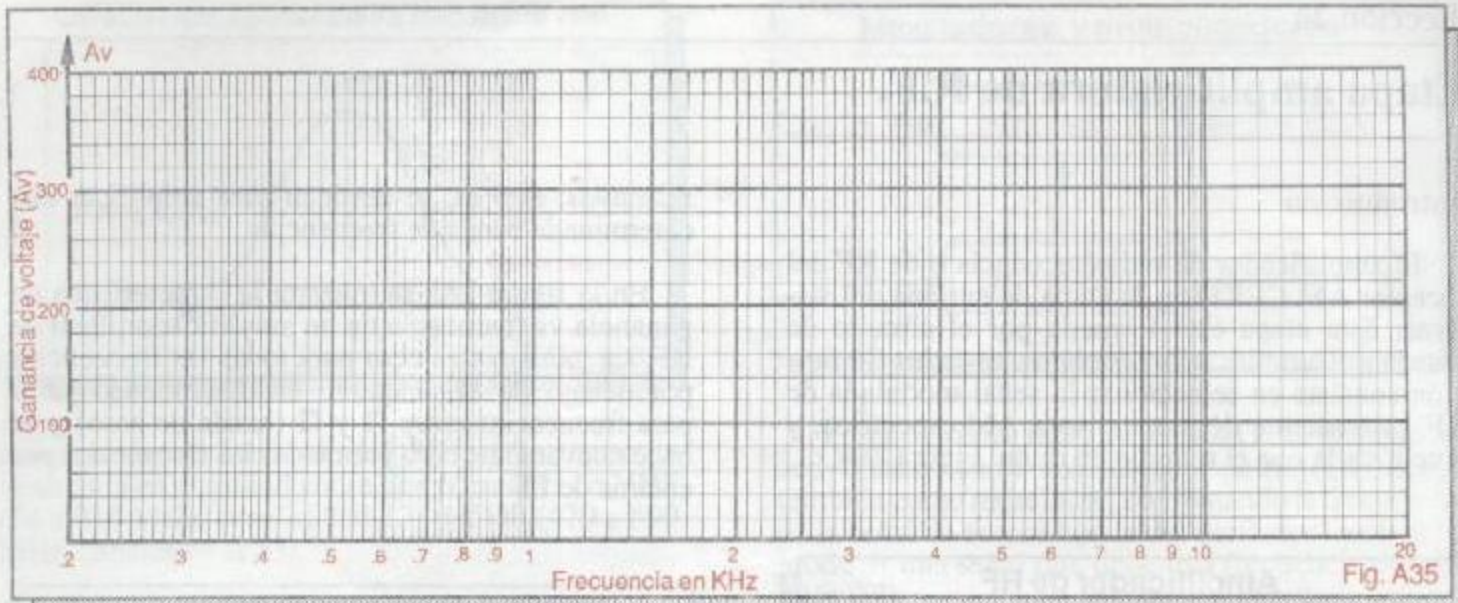
**Paso 8.** Repita los pasos 5, 6 y 7 para los demás valores de frecuencia solicitados en la tabla 1, hasta completarla.

**Paso 9.** Con los datos obtenidos, dibuje en papel logarítmico o semilogarítmico la curva de respuesta de frecuencia del amplificador, con C12 y sin C12.

Utilice el trazado de la figura A35. Localice horizontalmente todos los valores de frecuencia y verticalmente todos los valores de ganancia. Una los puntos resultantes en forma consecutiva. La gráfica resultante es la curva de respuesta de frecuencia buscada.

Notará que la ganancia no es constante para todas las frecuencias y que alcanza su valor máximo dentro de cierto rango, digamos, entre 1 y 2 KHz, y se reduce progresivamente para frecuencias por fuera de este rango. La ausencia de C12 no afecta la





respuesta a bajas frecuencias, pero sí a altas. En consecuencia, C12 actúa como un filtro pasa bajos.

## Conclusiones

Durante esta actividad, hemos terminado el ensamble del amplificador de audio y realizado el análisis estático y dinámico de sus condiciones de operación. A través de las pruebas, hemos verificado muchos aspectos teóricos importantes relacionados con los transistores y los amplificadores de audio en general.

Así mismo, nos hemos familiarizado más con el uso de los transistores y la manipulación de instrumentos de medida como el multímetro, el osciloscopio y el generador de señales. También, hemos adquirido ciertas destrezas y técnicas que nos servirán en el futuro para analizar circuitos similares.

Desde el punto de vista conceptual, hemos comprobado, entre otras cosas, que:

- El consumo de corriente del amplificador de audio es relativamente bajo en condiciones estáticas o de reposo (sin señal de entrada) y aumenta en condiciones dinámicas, dependiendo del nivel de señal aplicado.
- Todos los transistores del amplificador de audio deben estar correctamente polarizados para que el circuito funcione eficientemente. En particular, el voltaje de polarización directa de la unión BE de Q4 y Q5 debe ser positivo y el de Q6 negativo.
- Q4 es un amplificador de voltaje clase A mientras Q5 y Q6 son amplificadores de potencia complementarios clase AB. Q5 y Q6 suministran más ganancia de corriente que Q4 pero no amplifican voltaje.

- La señal de salida del preamplificador está desfasada 180° con respecto a su señal de entrada. La señal de salida del amplificador de potencia está en fase con su señal de entrada.

- Para una determinada frecuencia de señal, la ganancia de voltaje del preamplificador es prácticamente constante mientras la ganancia de potencia del amplificador de salida, depende del nivel de señal aplicado. En consecuencia, el preamplificador opera linealmente y el amplificador de potencia no.

- La máxima potencia de salida del amplificador de audio depende del valor de la fuente de alimentación y del valor de impedancia de la carga. La máxima potencia sin distorsión depende, además, del nivel de la señal de entrada.

- La resistencia R16 suministra realimentación negativa de voltaje desde la salida hasta la entrada del amplificador de audio. La realimentación negativa reduce la impedancia de entrada y la ganancia del amplificador, pero minimiza la distorsión.

- Q5 suministra corriente de salida sin distorsión durante los semiciclos positivos de la señal de entrada y Q6 durante los semiciclos negativos. En consecuencia, trabajan como un par complementario clase AB.

- Para un mismo nivel de señal de entrada, la ganancia de potencia del amplificador de audio depende estrechamente de la frecuencia. Es máxima para las frecuencias centrales de la banda de audio y disminuye gradualmente para frecuencias por fuera de esta banda.

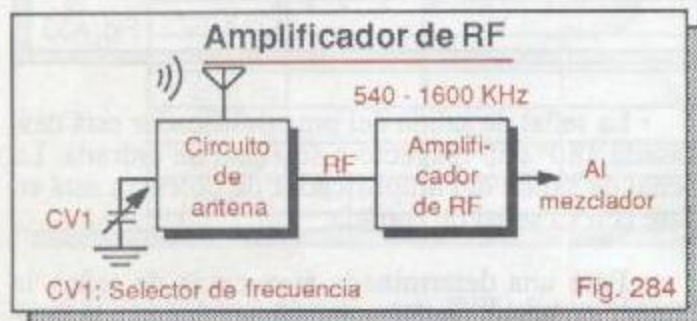
- La ausencia de C12 no afecta la respuesta de frecuencia del amplificador de audio, a bajas frecuencias, pero sí a altas frecuencias.



## Etapas amplificadora de R.F.

### Introducción

El amplificador de radiofrecuencia o de RF del receptor AM CEKIT es la etapa de entrada del sistema. Esta etapa está formada por el circuito de antena y el amplificador propiamente dicho. Su función consiste en seleccionar la señal modulada de RF, proveniente de una emisora AM específica, y amplificarla con el mínimo de ruido. Figura 284.



El amplificador de RF debe tener un ancho de banda apropiado para seleccionar la portadora y sus bandas laterales y rechazar al mismo tiempo las señales provenientes de emisoras adyacentes. En el caso del radio AM CEKIT, este ancho de banda es de 9 KHz, aproximadamente.

Una vez amplificada, la señal de salida del amplificador de RF se mezcla o bate con la señal del oscilador local para producir la señal de FI. A este proceso, como sabemos, se le denomina heterodinación. La señal de FI tiene una frecuencia de 455 KHz y conserva la misma modulación original de la portadora de RF.

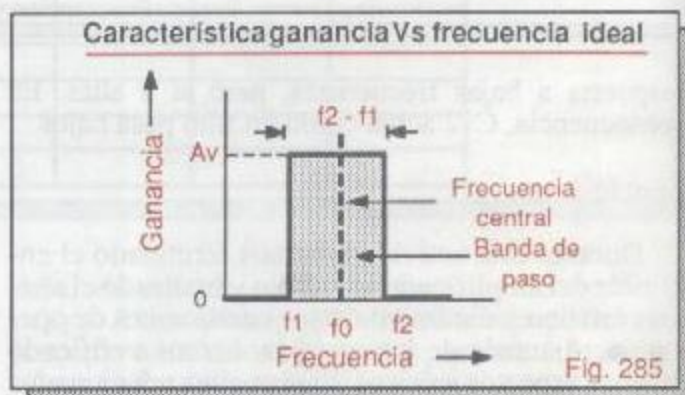
Nuestro amplificador de RF ha sido diseñado para operar en la banda de onda media (OM o MW) de AM, la cual se extiende desde 530 hasta 1600 KHz. Los amplificadores de RF, en general, se diseñan para operar en cualquier banda de frecuencias desde 30 KHz hasta más de 1 GHz (1000 MHz), incluyendo microondas. Las *microondas* son frecuencias por encima de 3 GHz.

### Características generales de los amplificadores de RF

Los amplificadores de RF son similares a los amplificadores de audio en muchos aspectos. Deben tener una carga en su circuito de salida y necesitan estar correctamente polarizados. Sin embargo, son

*selectivos*, esto es, se destinan para amplificar una determinada banda de frecuencias.

En la figura 285 se muestra la característica de ganancia vs frecuencia de un amplificador ideal de RF. La ganancia es cero para todas las frecuencias por debajo de  $f_1$ , adquiere un determinado valor para frecuencias entre  $f_1$  y  $f_2$  (banda de paso) y se hace nuevamente cero para todas las frecuencias por encima de  $f_2$ .



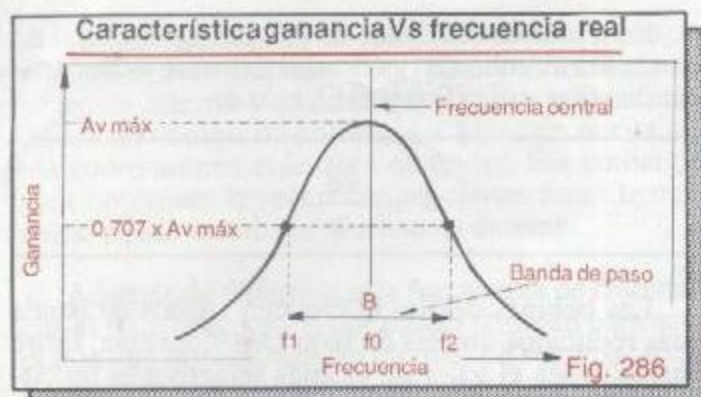
Las frecuencias que definen la banda de paso ( $f_2$  y  $f_1$ ) se denominan *frecuencias de corte* superior e inferior, respectivamente, y su diferencia ( $f_2 - f_1$ ) define el ancho de banda (**B**) del amplificador. El punto medio  $f_0$  de la banda de paso, equidistante de los puntos de corte, se denomina *frecuencia central*.

La característica de ganancia vs frecuencia de los amplificadores reales de RF (figura 286) es sólo una aproximación a la característica ideal de la figura 285. Por definición, los límites reales que definen la banda de paso son aquellos en los cuales la ganancia es 0.707 veces la ganancia máxima, obtenida a la frecuencia central.

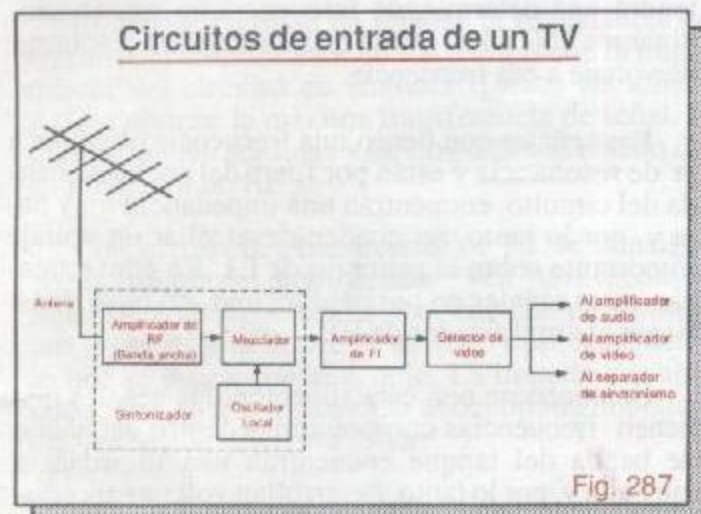
De acuerdo a su ancho de banda, los amplificadores de RF pueden ser de banda ancha o de banda estrecha. Los de banda ancha tienen anchos de banda de varios MHz y se destinan, generalmente, para aplicaciones de video. Los de banda estrecha tienen anchos de banda de unos pocos Hz y se destinan, generalmente, para aplicaciones de audio.

Un ejemplo de amplificador de RF de banda ancha es el utilizado como etapa de entrada en un receptor de TV (figura 287). La señal de video ocu-





pa un ancho de banda de 5.5 MHz y se transmite modulada en amplitud sobre una portadora de VHF (54 a 216 MHz, canales 2 al 13) o UHF (470 a 890 MHz, canales 14 al 83).



Un ejemplo de amplificador de RF de banda estrecha o sintonizado es el que se utiliza como etapa de entrada en un receptor superheterodino de AM. En este caso, la señal de audio ocupa un ancho de banda de 9 KHz y se transmite modulada en amplitud sobre una portadora de 530 a 1600 KHz.

Los amplificadores de RF pueden encontrarse como etapas de entrada en receptores o como etapas de salida en transmisores. En el primer caso, trabajan como amplificadores de voltaje, manejando señales muy débiles. En el segundo, trabajan como amplificadores de potencia, manejando señales desde unos pocos vatios hasta cientos de kilovatios.

Los amplificadores de RF se utilizan también para realizar ciertas funciones especializadas, como la mezcla y la multiplicación de frecuencias (figura 288). Un mezclador combina dos señales de frecuencias diferentes. Un multiplicador entrega una frecuencia de salida que es 2, 3 ó 4 veces la frecuencia de entrada.



En el caso del radio AM CEKIT, el dispositivo activo usado como amplificador de RF (Q1), actúa también como mezclador, combinando la frecuencia de la señal de antena con la del oscilador local, para producir una señal que tiene una frecuencia de 455 KHz (FI).

Los amplificadores de RF pueden estar formados por una o varias etapas. En este último caso, se conectan dos o más etapas sencillas en cascada, una a continuación de la otra, con el fin de aumentar gradualmente el nivel de la señal de entrada. El amplificador de RF del radio AM CEKIT es de una sola etapa y el de FI es de dos etapas.

Los amplificadores de RF se caracterizan por utilizar circuitos resonantes RLC como elementos de sintonía. Estos circuitos determinan el ancho de banda y la selectividad. La amplificación como tal la realizan transistores o FET's. Los FET's generan menos ruido y tienen una impedancia de entrada más alta que los transistores convencionales.

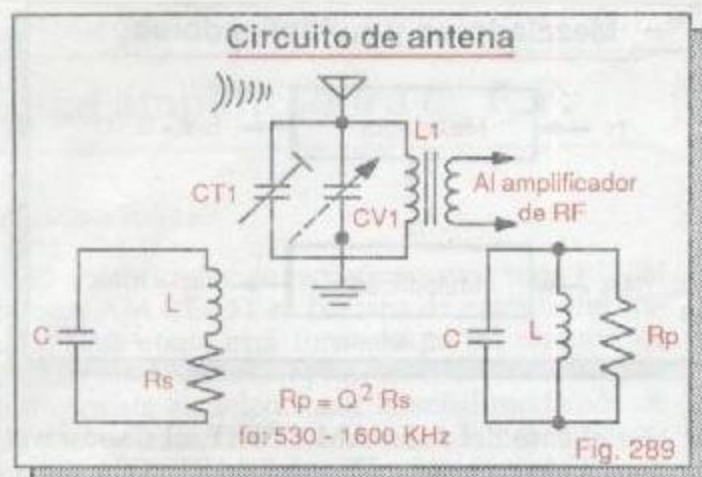
El amplificador de RF del radio AM CEKIT utiliza un tanque RLC, sintonizable a cualquier frecuencia entre 530 y 1600 KHz, como etapa de entrada y un tanque RLC, sintonizado a 455 KHz, como etapa de salida. El elemento activo de amplificación es un transistor bipolar NPN (Q1).

### La etapa de antena. Concepto de factor de calidad o Q.

La etapa de antena del receptor AM CEKIT es un tanque o circuito resonante RLC paralelo, sintonizable a cualquier frecuencia entre 530 y 1600 KHz. Su función consiste en captar la señal de RF, emitida por una estación de radio AM específica dentro de esta banda, y suministrarla a la entrada del amplificador de RF.

Una vez amplificada, esta señal se mezcla con la del oscilador local para producir la señal de FI. En la figura 289 se muestra el circuito completo de la etapa de antena y su forma simplificada. La teoría sobre circuitos resonantes se estudia con detalle en la Lección 12 de este curso.





La frecuencia de resonancia del circuito de antena está dada por:

$$f_{ant} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Siendo  $2\pi=6.28$  una constante,  $L=L1$  la inductancia del devanado primario en Henrios (H) y  $C = CV1+CT1$  la capacitancia equivalente en Faradios (F). CV1 es el condensador de sintonía y CT1 el de compensación o "trimmer". Se utiliza para realizar ajustes finos de sintonía.

La resistencia RS representa las pérdidas asociadas a los elementos reactivos del circuito de sintonía (L y C) y al efecto de la impedancia de entrada del amplificador. Para efectos prácticos, se considera que las pérdidas se deben exclusivamente a la resistencia de la bobina L.

El efecto de estas pérdidas en la selectividad del circuito de sintonía y su ancho de banda, se puede evaluar mediante el *factor de calidad* o Q de la bobina, definido como:

$$Q = \frac{X_L}{R_S} = \frac{2\pi f_0 L}{R_S}$$

Siendo  $2\pi=6.28$ ,  $f_0$  la frecuencia de resonancia (Hz), L la inductancia de la bobina (H),  $X_L$  la reactancia inductiva ( $\Omega$ ) y  $R_S$  su resistencia serie o interna. Se dice que una bobina es de alto Q cuando el valor de Q es mayor o igual a 10 (diez). Es común encontrar, en aplicaciones de RF, bobinas con Q de 100 a 200 y más.

En términos del factor de calidad Q, el ancho de banda del circuito (B) es la relación entre la frecuencia de resonancia ( $f_0$ ) y el Q, esto es:

$$B = \frac{f_0}{Q}$$

Las bobinas de alto Q proveen anchos de banda más reducidos que las de bajo Q y viceversa. Entre más alto sea el valor de Q, más selectivo es un circuito. El ancho de banda del circuito de antena debe ser compatible con el de las transmisiones comerciales de AM (10 KHz).

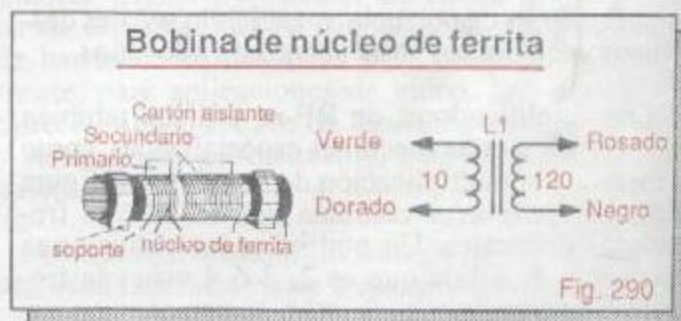
Las señales de radio, emitidas por las diversas estaciones, son interceptadas por la antena propiamente dicha y se dirigen al circuito de sintonía. Dependiendo de la posición de CV1, este circuito tendrá una determinada frecuencia de resonancia, digamos 750 KHz, y ofrecerá su máxima respuesta de voltaje a esa frecuencia.

Las señales que tienen una frecuencia diferente a la de resonancia y están por fuera del ancho de banda del circuito, encuentran una impedancia muy baja y, por lo tanto, no pueden desarrollar un voltaje importante sobre el primario de L1. En consecuencia, estas señales no pasan al secundario ni se transfieren al amplificador de RF.

En contraste con esta situación, las señales que tienen frecuencias comprendidas dentro del ancho de banda del tanque encuentran una impedancia muy alta y, por lo tanto, desarrollan voltajes apreciables sobre el primario de L1.

Estos voltajes, que son réplicas eléctricas de la señal electromagnética enviada por una emisora en particular, se inducen en el secundario y se transfieren al amplificador de RF.

La bobina o transformador del circuito de antena (L1) consiste de dos arrollamientos independientes, devanados sobre un núcleo común de ferrita y separados de éste por un cartón aislante (figura 290).





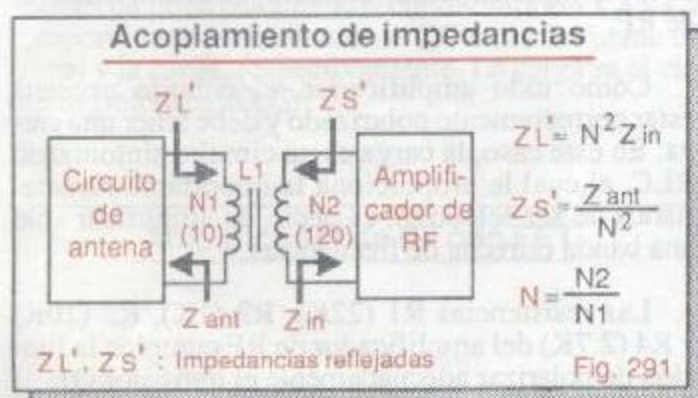
Los arrollamientos se realizan con un tipo especial de alambre llamado "Litz" para minimizar su resistencia interna y sus extremos se identifican mediante un código de colores. La barra de ferrita actúa como antena colectora de ondas. Sin embargo, para optimizar la recepción en ciertas áreas marginales, puede instalarse una antena externa.

Además de determinar la frecuencia de resonancia, el transformador L1 se utiliza también para acoplar la alta impedancia del circuito de sintonía ( $\approx 150 \text{ K}\Omega$ ) con la baja impedancia de entrada del amplificador de RF ( $\approx 1 \text{ K}\Omega$ ).

Para lograr este acople, la relación de espiras ( $N$ ) entre el secundario y el primario debe ser relativamente alta. En nuestro caso, el primario tiene 10 espiras y el secundario 120, aproximadamente. En consecuencia, la relación de espiras es  $N=12$ .

El acople consiste en igualar la impedancia de entrada del amplificador de RF (carga) con la impedancia del circuito de sintonía (fuente de señal). Así, se obtiene la máxima transferencia de señal, se minimizan las pérdidas y se simplifica el diseño del amplificador de RF.

Con el uso del transformador L1 se consigue que la entrada del amplificador "vea" una fuente de señal de baja impedancia y el circuito de sintonía una carga de alta impedancia. Esto es precisamente lo que se busca con el acople. La impedancia aparente vista en uno u otro caso se denomina impedancia "reflejada". (figura 291).



### Cómo se sintonizan otras bandas de AM

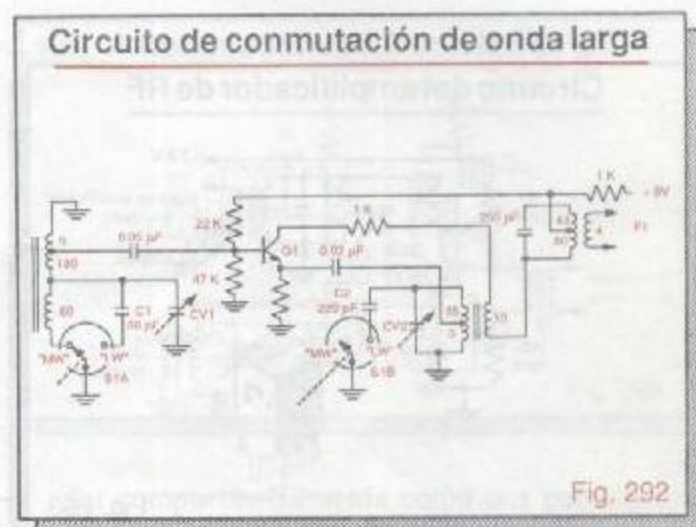
El circuito de sintonía del radio AM CEKIT provee únicamente recepción de las emisoras locales de onda media que transmiten en la banda comercial de AM (530 a 1600 KHz).

Muchos aparatos de radio captan también programas en onda larga (150 a 300 KHz) o en onda corta (5.5 a 30 MHz), emitidos por estaciones inter-

nacionales como Radio Monte Carlo, la BBC de Inglaterra, la Voz de los Estados Unidos de América, la Radiodifusora Nacional de Colombia, etc.

En un receptor de dos bandas, la conmutación de una banda a otra se realiza generalmente mediante un interruptor dpdt (2 polos, 2 posiciones) que conecta los componentes de sintonía necesarios para cubrir cada banda. Por razones de conveniencia, se utiliza el mismo condensador variable.

En la figura 292 se muestra un circuito de conmutación típico de onda larga/onda media utilizado en ciertos receptores de radio.



En la posición "LW" (onda larga) el conmutador conecta el condensador C2 (220 pF) en paralelo con la sección osciladora del condensador variable (CV2) y el condensador C1 (88 pF) en paralelo con la sección de antena (CV1). No se utiliza el arrollamiento "60" de la bobina de sintonía y sólo interviene el arrollamiento "9/180". Estos números se refieren al número de espiras.

Con esta configuración la frecuencia de resonancia del circuito de antena se puede variar entre 150 y 300 KHz y la del oscilador local entre 605 y 755. Así, la frecuencia intermedia sigue siendo de 455 KHz.

En la posición "MW" (onda media o AM normal) el conmutador desconecta los condensadores C1 y C2 y conecta el arrollamiento "60" en paralelo con el arrollamiento "9/180".

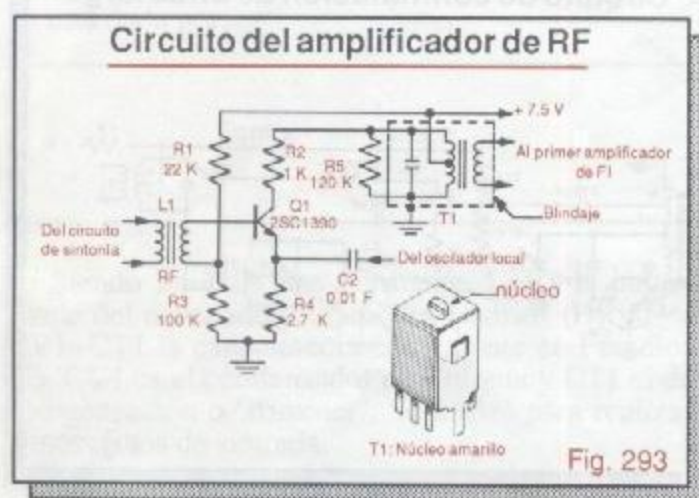
Con esta configuración, la frecuencia de resonancia del circuito de antena se puede variar entre 540 y 1600 KHz y la del oscilador local entre 985 y 2055 KHz. La frecuencia intermedia sigue siendo de 455 KHz. La operación del oscilador local se estudia en detalle en la Lección 25.



## El amplificador de RF

El amplificador de RF propiamente dicho del radio AM CEKIT, recibe la débil señal captada por el circuito de antena, la amplifica, la mezcla con la señal del oscilador local y entrega la señal resultante al primer amplificador de FI. La salida del amplificador de RF es un tanque RLC, sintonizado a 455 KHz.

En la figura 293 se muestra el circuito simplificado de nuestro amplificador de RF. Se han omitido los circuitos correspondientes a la etapa de antena y al oscilador local por comodidad. La forma como se realiza la mezcla de las señales de RF y del oscilador local se analiza en la Lección 26.



El dispositivo activo del amplificador de RF es el transistor Q1. El circuito es básicamente un amplificador de voltaje, sintonizado a la salida, y responde a la configuración emisor común. Se acopla magnéticamente a la etapa siguiente mediante el primer amplificador de FI (T1, núcleo amarillo).

La tensión inversa de polarización del colector la extrae el circuito de la fuente de alimentación a través de la parte superior del devanado primario de T1. Este transformador es blindado magnéticamente para protegerlo de cualquier interferencia externa. El blindaje metálico se conecta a tierra.

El circuito sintonizado de salida lo constituyen R5 (120 K $\Omega$ ), el primer transformador de FI (T1, núcleo amarillo) y el condensador interno de este último ( $\approx 500$  pF). Este circuito actúa como carga del amplificador de RF y es el que determina su ganancia de voltaje.

La ganancia del amplificador de RF es máxima a 455 KHz porque, a esta frecuencia, la impedancia del tanque es también máxima y se puede desarrollar un alto voltaje de señal.

La señal de entrada del amplificador de RF proviene del secundario de la bobina de antena. Esta señal se amplifica a un nivel suficiente para minimizar el efecto del ruido y se mezcla con la del oscilador local.

La señal del oscilador local se aplica al emisor de Q1 a través del condensador C2 (0.01  $\mu$ F). Esta señal tiene una amplitud relativamente alta, digamos 1 Vpp, y su frecuencia es siempre 455 KHz más alta que la captada en el circuito de antena.

Por ejemplo, si se sintoniza una emisora que transmite a 1000 KHz, el oscilador local generará automáticamente una señal de 1455 KHz. Para lograr este sincronismo, los condensadores variables del circuito de sintonía (CV1) y del oscilador local (CV2) están acoplados mecánicamente sobre el mismo eje, es decir, trabajan en "tandem".

Como resultado del proceso de mezcla, a la salida del amplificador de RF se tienen, además de las señales de 1000 KHz y 1455 KHz, la señal suma (2455 KHz), la señal diferencia (455 KHz) y todas las frecuencias armónicas o múltiplos (2000 KHz, 2910 KHz, 4910 Hz, 910 KHz, etc.).

Sin embargo, como la salida del amplificador de RF está sintonizada a 455 KHz, sólo la señal de esta frecuencia será amplificada. Todas las demás encontrarán una impedancia de salida muy baja y no recibirán amplificación. Naturalmente, se amplifica la señal de 455 KHz y sus bandas laterales, dentro de un ancho de banda de 9 KHz.

Repasemos brevemente la función de cada uno de los componentes que constituyen el amplificador de RF.

Como todo amplificador, el circuito necesita estar correctamente polarizado y debe tener una carga. En este caso, la carga es un circuito sintonizado RLC, el cual le proporciona la importante característica de ser selectivo, es decir, de amplificar sólo una banda estrecha de frecuencias.

Las resistencias R1 (22K), R2 (1K), R3 (10K) y R4 (2.7K) del amplificador de RF cumplen la función de polarizar adecuadamente el transistor Q1.

Específicamente, R1 y R3 establecen la corriente de reposo de la base ( $\approx 10$   $\mu$ A) y R2 el voltaje de reposo de colector ( $\approx 5.8$  V). R4 estabiliza térmicamente el punto de trabajo, haciéndolo inmune a las variaciones de temperatura.

La resistencia R5 (120 K $\Omega$ ) del circuito sintonizado de salida se utiliza para acomodar el ancho de banda a los requisitos del amplificador. Su efecto neto es reducir el Q del tanque sintonizado.



Como sabemos, al reducirse el Q aumenta el ancho de banda y disminuye la selectividad.

El transformador T1, sintonizado a 455 KHz, determina la ganancia del amplificador de RF. El circuito se sintoniza a 455 KHz, durante el proceso de alineación, desplazando el núcleo interno de ferrita hasta conseguir la máxima ganancia. Con esta operación se está variando, realmente, la inductancia del tanque.

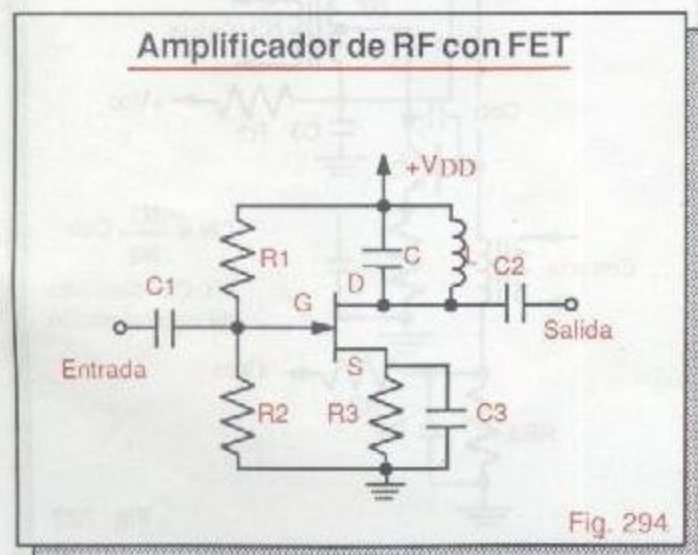
Además de esta función, T1 acopla la alta impedancia de salida del amplificador de RF con la baja impedancia de entrada del primer amplificador de FI. Así mismo, T1 aplica la tensión de alimentación ( $\approx +7.5$  V) al colector de Q1. En este último caso se aprovecha la propiedad de una bobina de comportarse como un cortocircuito para la CC.

### Amplificadores de RF con FET

Los transistores de efecto de campo (FETs y MOSFETs) se utilizan frecuentemente como amplificadores de RF, en sustitución de los transistores bipolares, por su bajo ruido y su alta impedancia de entrada.

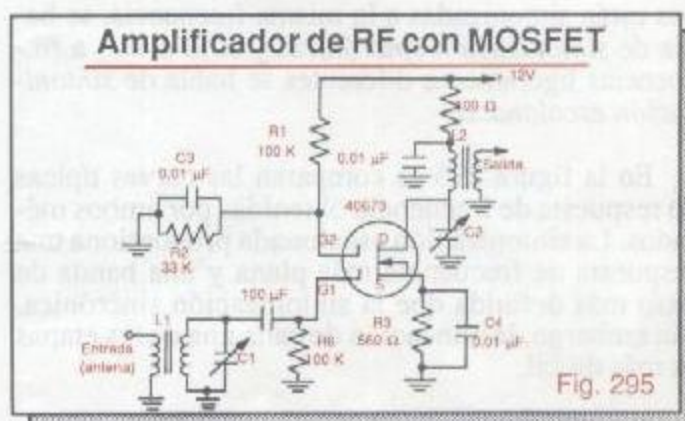
Estas características mejoran la sensibilidad de la etapa de entrada del receptor, facilitando la captación de emisoras remotas, tales como las que transmiten en onda corta, y simplifican el acoplamiento entre etapas.

En la figura 294 se muestra un circuito básico de amplificador de RF con FET. Las resistencias R1, R2 y R3 y el condensador C3 establecen las condiciones de polarización. Los condensadores C1 y C2 proporcionan aislamiento de CC entre la fuente de señal y la carga, respectivamente. La carga es el circuito sintonizado LC.



Variando el valor de C, el circuito tanque se sintoniza a una determinada frecuencia de resonancia. A esta frecuencia, la impedancia de salida y la ganancia de voltaje son máximas. La señal amplificada de RF se acopla a la etapa siguiente a través del condensador C2.

En la figura 295 se muestra el circuito de un amplificador típico de RF con MOSFET de doble compuerta. Este tipo de amplificador se utiliza en receptores de FM que operan en la banda VHF (90 MHz a 110 MHz). La señal de entrada se aplica a la compuerta G1 y los voltajes de polarización a la compuerta G2.



La compuerta G2 actúa como una pantalla que neutraliza el efecto de la capacitancia parásita interna entre el drenador D y la compuerta G1. A frecuencias muy altas, esta capacitancia reduce la ganancia del amplificador y lo hace inestable, con tendencia a la oscilación. La importancia de la neutralización se analiza más adelante.

Note que tanto en la entrada como en la salida se utilizan circuitos sintonizados LC. El circuito de entrada está formado por L1 y C1 y el de salida por L2 y C2. Esta doble sintonía provee una alta selectividad. R1, R2 y R3 son resistencias de polarización. C3 y C4 son condensadores de desacople de RF.

### Amplificadores de RF en cascada

Un amplificador de RF en cascada (figura 296) está formado por varias etapas individuales de amplificación conectadas en serie, es decir, una a continuación de la otra. Los amplificadores de RF en cascada se utilizan cuando la ganancia y la selectividad de una sola etapa son insuficientes para una aplicación dada.

Al conectar varios amplificadores de RF en cascada, la respuesta general de frecuencia depende de la sintonización de cada etapa. Si todas las eta-



## Amplificador de RF en cascada

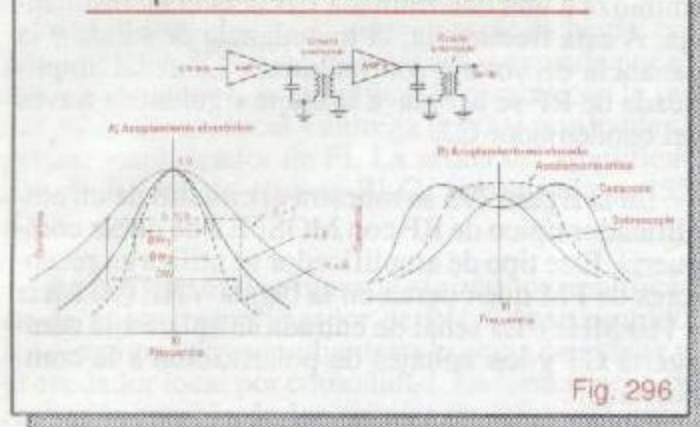


Fig. 296

pas están sintonizadas a la misma frecuencia, se habla de *sintonización sincrónica*, y si lo están a frecuencias ligeramente diferentes se habla de *sintonización escalonada*.

En la figura 296 se comparan las curvas típicas de respuesta de frecuencia obtenidas por ambos métodos. La sintonización escalonada proporciona una respuesta de frecuencia más plana y una banda de paso más definida que la sintonización sincrónica. Sin embargo, la alineación de cada una de las etapas es más difícil.

Cuando se conectan dos o más etapas amplificadoras de RF en cascada, la impedancia de entrada de una etapa actúa como impedancia de carga de la etapa precedente. Para garantizar la máxima transferencia de señal entre etapas y mantener la selectividad del sistema, debe proveerse un medio apropiado de acoplamiento.

En amplificadores de RF con FETs, las etapas pueden acoplarse directamente debido a la alta impedancia de entrada de estos dispositivos. En ampli-

ficadores de RF con transistores las etapas deben acoplarse mediante un transformador u otro método que elimine o minimice el efecto de carga impuesto por la baja impedancia de entrada.

En la figura 297 se muestran los 3 métodos básicos de acoplamiento entre amplificadores sintonizados de RF: por transformador, por bobina dividida y capacitivo. Los dos primeros son los más populares. El acoplamiento capacitivo se utiliza principalmente en VHF y UHF.

## Neutralización de amplificadores de RF

Los amplificadores de RF, especialmente aquellos que trabajan a frecuencias muy altas, tienden a ser inestables, es decir, a oscilar. En el caso de amplificadores a transistores y FETs, la razón de esta inestabilidad es la realimentación positiva introducida por las capacitancias internas del dispositivo.

Los transistores y FETs se pueden utilizar eficientemente como amplificadores de RF a frecuencias muy altas si se neutralizan. La neutralización consiste en tomar una parte de la señal de salida y realimentarla negativamente a la entrada. De este modo, se cancela o minimiza la realimentación positiva que causa la oscilación.

En la figura 298 se muestra el circuito de un amplificador de RF neutralizado. La señal de realimentación se toma del secundario del transformador y se aplica a la base de Q1 a través del condensador de neutralización CN. El valor de CN debe elegirse de tal modo que cancele la realimentación interna de la capacitancia entre el colector y la base (Cob).

## Métodos de acoplamiento

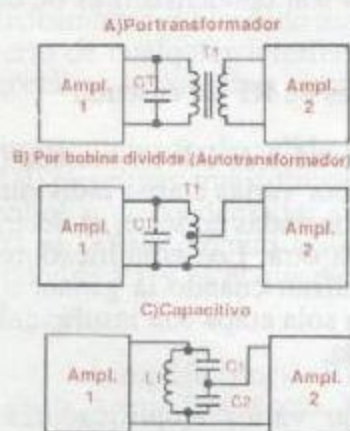
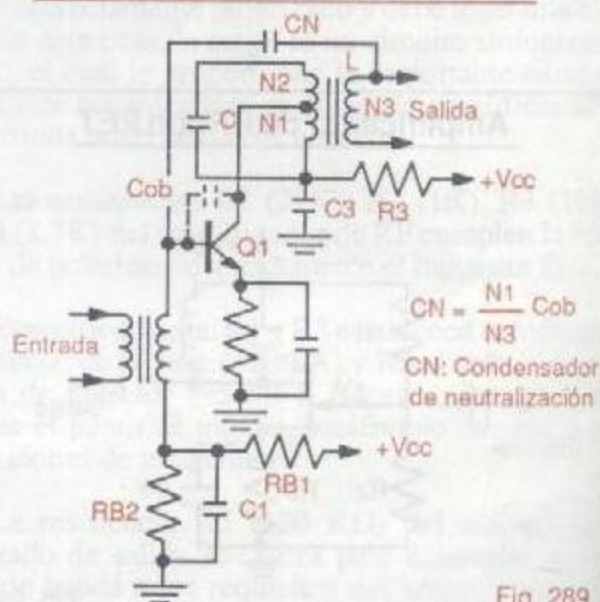


Fig. 297

## Amplificador de RF neutralizado



$$CN = \frac{N1}{N3} Cob$$

CN: Condensador de neutralización

Fig. 289



## Circuitos osciladores

### Generalidades

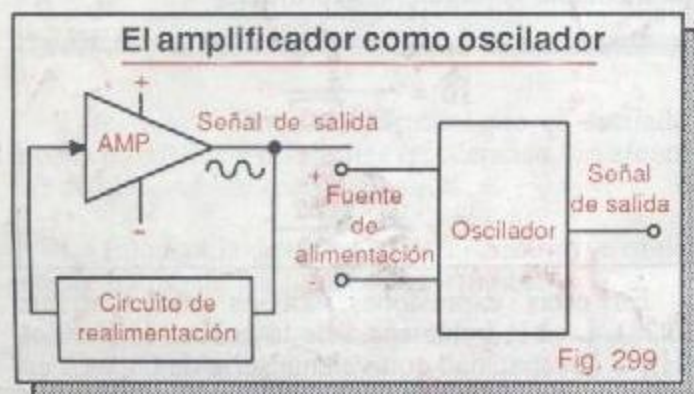
Como sabemos, los osciladores son circuitos que generan señales periódicas, de voltaje o corriente, de una determinada frecuencia, amplitud y forma de onda.

La teoría general de los osciladores se estudia en la Lección 19 de este curso, pero debido a que estos circuitos son bloques fundamentales de todo equipo o aparato de radio o comunicaciones, vamos a profundizar más en este tema en la presente lección.

La mayoría de los osciladores utilizados en los aparatos de radio y comunicaciones son amplificadores realimentados positivamente y generan formas de onda sinusoidales.

Para garantizar la permanencia de las oscilaciones, la señal de realimentación debe aplicarse en el momento preciso, con la fase correcta y en la cantidad apropiada. Una realimentación excesiva puede provocar distorsión, calentamiento e inestabilidad.

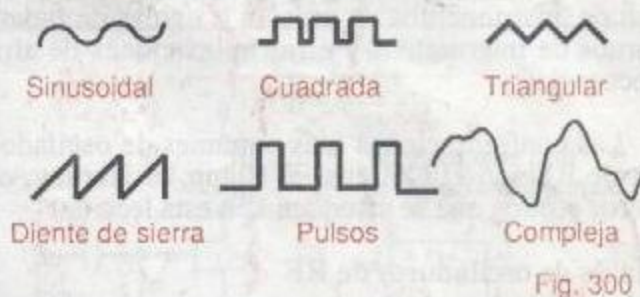
A pesar de ser esencialmente un amplificador, un oscilador no necesita de una señal de entrada para generar una señal de salida. Las únicas entradas externas de un oscilador son los terminales de la fuente de alimentación (figura 299).



Las oscilaciones se inician tan pronto se aplica el voltaje de la fuente y se sostienen por sí mismas. En consecuencia, los osciladores convierten la corriente continua de la fuente, en una corriente alterna que puede tener cualquier forma de onda, dependiendo del diseño.

En la figura 300 se muestran las formas de onda más comunes entregadas por los osciladores.

### Formas de onda típicas de osciladores

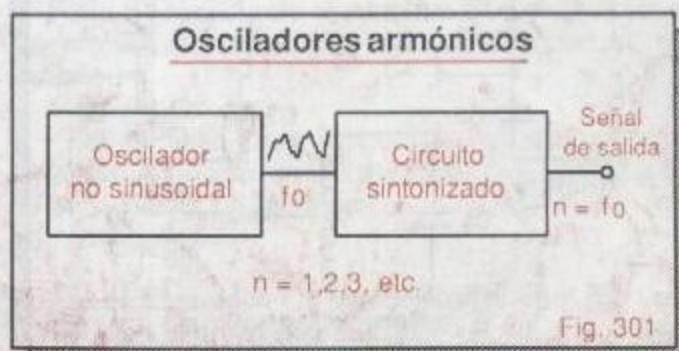


Los circuitos que producen señales no sinusoidales se denominan comúnmente *osciladores de relajación*. Las formas de onda no sinusoidales, generadas por los osciladores de relajación, son ricas en armónicos de diversos órdenes, es decir, contienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de oscilación.

Los osciladores de relajación se utilizan frecuentemente como instrumentos de prueba de amplificadores de audio y de RF. Un ejemplo es el inyector de señales construido en la actividad N° 10 de este curso. Este oscilador, en particular, produce un tren continuo de ondas cuadradas.

Los osciladores de relajación se emplean también en ciertas aplicaciones de VHF y UHF, para obtener señales sinusoidales puras a partir de señales no sinusoidales. Este tipo de circuitos se denominan *osciladores armónicos*.

Un oscilador armónico consiste de un oscilador de relajación de baja frecuencia, altamente estable, sintonizado a la salida a la frecuencia de un armónico específico. El armónico elegido, por ejemplo, el 5°, es una señal sinusoidal prácticamente pura (figura 301).





En esta lección estudiaremos fundamentalmente los osciladores de RF utilizados como osciladores locales, en los receptores de radio. Este tipo de circuitos suministran señales de alta frecuencia, por encima de 30 KHz.

Los osciladores de RF se utilizan en los transmisores y receptores de radio y TV, fuentes de alto voltaje, instrumentos de prueba, sistemas de radar, hornos de microondas y otras aplicaciones de alta frecuencia.

Las configuraciones más comunes de osciladores de RF son el Colpitts, el Clapp, el Hartley, el Pierce y otros que se estudiarán en esta lección.

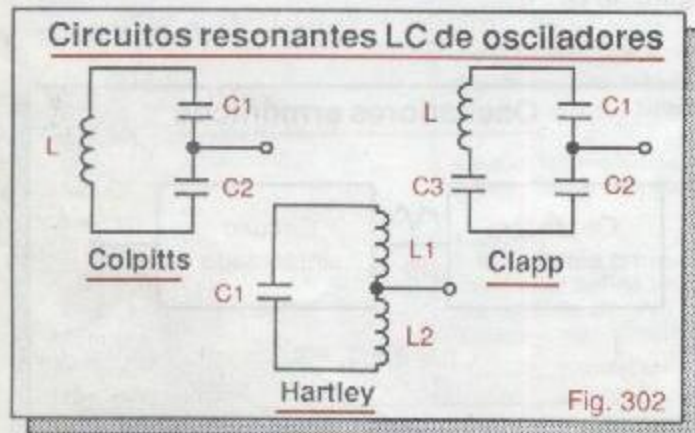
### Clases de osciladores de RF

Prácticamente todos los osciladores de RF son realimentados y utilizan circuitos resonantes LC o cristales de cuarzo como elementos determinantes de la frecuencia de oscilación, y dispositivos activos como tubos, transistores, FETs o circuitos integrados como amplificadores básicos.

Los cristales y circuitos LC determinan, además, la estabilidad de frecuencia, el rango de sintonía y la amplitud y pureza de la señal de salida. Los osciladores más estables utilizan cristales. Sin embargo, cuando se requieren osciladores de frecuencia variable, se prefieren los circuitos LC.

La estabilidad de frecuencia, los osciladores de frecuencia variable (VFOs) y los osciladores a cristal son temas que se tratan más adelante, dentro de esta misma lección. Por ahora, estudiaremos los osciladores realimentados LC más comunes.

En la figura 302 se muestran las configuraciones de circuitos resonantes LC más utilizadas en osciladores de RF. En el caso de osciladores a transistores, el tanque LC se encuentra, por lo regular, en el circuito de colector y ofrece su máxima impedancia a la frecuencia de resonancia.

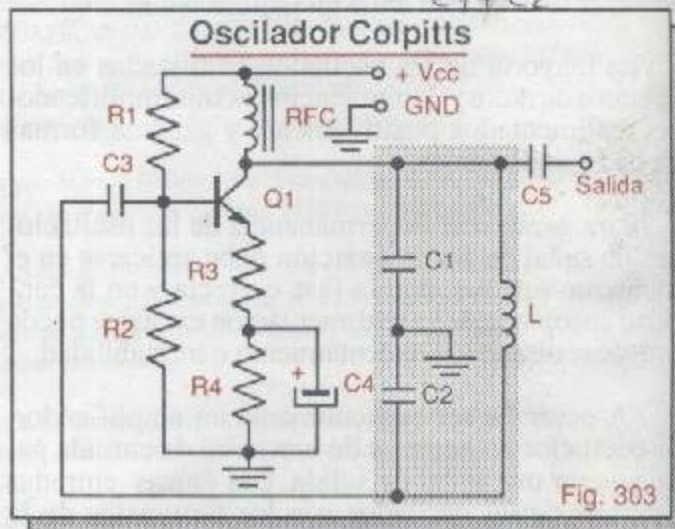


Los tanques resonantes LC anteriores son la base de los osciladores Colpitts, Clapp y Hartley, que se estudian a continuación. Estos mismos circuitos se pueden también implementar utilizando cristales. Desde el punto de vista eléctrico, los cristales se comportan como circuitos resonantes de alto Q.

### Osciladores Colpitts

En un oscilador tipo Colpitts (figura 303), la realimentación positiva la realiza el divisor de voltaje capacitivo formado por los condensadores C1 y C2. El voltaje de salida, entre colector y tierra, se desarrolla sobre C1. El voltaje de realimentación aparece sobre C2.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{L \times \frac{C1 \times C2}{C1 + C2}}}$$



La frecuencia de oscilación del circuito se obtiene mediante las siguientes fórmulas:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC'}}$$

$$C = \frac{C1 \times C2}{C1 + C2}$$

En estas expresiones,  $2\pi$  es una constante (6.28), L es la inductancia de la bobina en Henrios (H), C la capacidad equivalente serie de C1 y C2 en Faradios (F) y  $F_0$  la frecuencia de oscilación en Hertz (Hz). En general, C2 es siempre mayor que C1.

La relación  $C1/C2$  se denomina *factor de realimentación* ( $\beta$ ) del oscilador y es siempre menor de 1. El factor de realimentación de un oscilador mide la proporción de señal de salida que se utiliza como señal de realimentación. Un  $\beta$  de 0.1, por ejemplo, significa que el 10% de la señal de salida se utiliza como señal de realimentación.

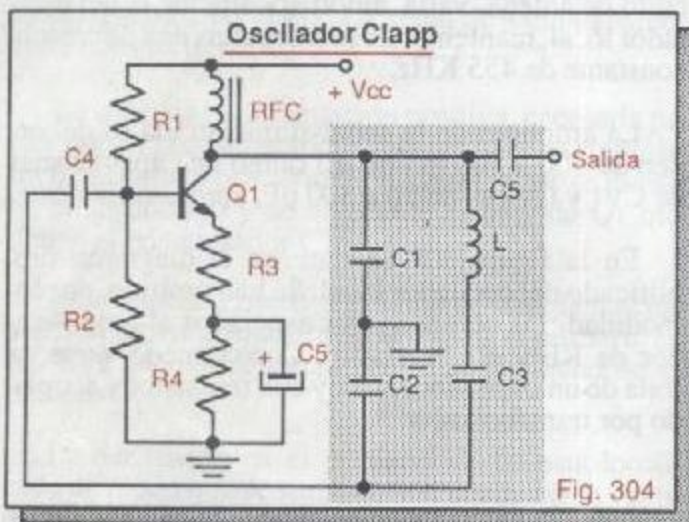


La ganancia de voltaje propia del circuito ( $A_v$ ) debe ser siempre mayor o igual a  $1/\beta$  (el inverso de  $\beta$ ) para que el sistema oscile. A esta condición se le denomina *criterio de Barkhausen* en la teoría de osciladores sinusoidales y es válido en todos los circuitos que siguen, definiendo apropiadamente el factor de realimentación  $\beta$ .

Por ejemplo, si  $L=10\ \mu\text{H}$ ,  $C_1=47\ \text{pF}$  y  $C_2=470\ \text{pF}$ , entonces  $C=43\ \text{pF}$ ,  $F_0=7.65\ \text{MHz}$  y  $\beta=0.1$ . En consecuencia, la ganancia  $A_v$  del amplificador debe ser mayor de  $1/0.1=10$  para que el circuito oscile.

### Osciladores Clapp

El oscilador tipo Clapp (figura 304) es una versión mejorada del oscilador Colpitts descrito anteriormente. Este circuito también utiliza realimentación capacitiva, pero incorpora un tercer condensador en el circuito que determina la frecuencia ( $C_3$ ).



Este nuevo elemento permite que el oscilador pueda trabajarse a diferentes frecuencias, sin afectar las condiciones de realimentación.

La frecuencia de oscilación del circuito se obtiene por medio de las siguientes fórmulas:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

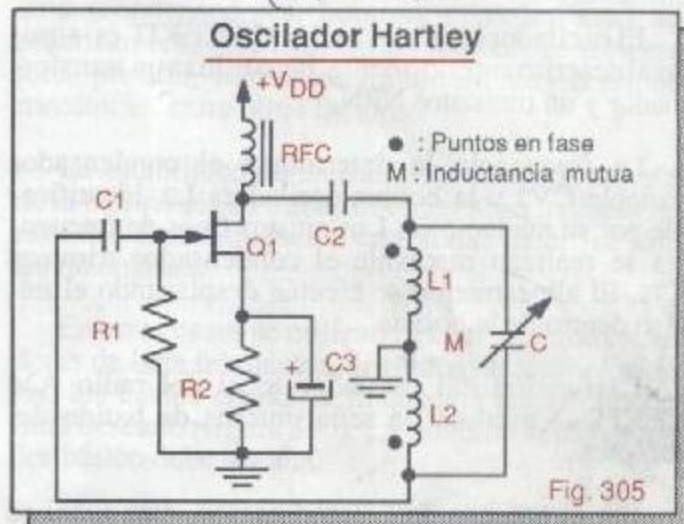
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

En estas expresiones,  $2\pi=6.28$ ,  $L$  es la inductancia de la bobina,  $C$  la capacidad equivalente serie de  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  y  $F_0$  la frecuencia de oscilación. El valor de  $C_3$  es muy pequeño comparado con el de  $C_1$  y  $C_2$ . El factor de realimentación es  $\beta=C_1/C_2$ .

### Osciladores Hartley

En un oscilador tipo Hartley (figura 305), la realimentación positiva la realiza el divisor de voltaje inductivo formado por las bobinas  $L_1$  y  $L_2$ , acopladas magnéticamente.

$$F_0 = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{(L_1 + L_2) \times C}}$$



El voltaje de salida se desarrolla sobre  $L_1$  y el de realimentación sobre  $L_2$ . El condensador variable  $C$  permite sintonizar el oscilador en una amplia gama de frecuencias.

La frecuencia de oscilación del circuito se obtiene por medio de las siguientes fórmulas:

$$X_L = 2\pi \times f \times L$$

$$f = \frac{X_L}{2\pi \times L}$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi \times f}$$

$$4\pi^2 \times f^2 \times L \times C = 1$$

$$L = L_1 + L_2 + 2M$$

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 0.153$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \times F_0^2 \times C}$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 \times F_0^2 \times L}$$

En estas expresiones,  $2\pi$  es una constante (6.28),  $L$  es la inductancia equivalente serie de  $L_1$  y  $L_2$ ,  $M$  es la inductancia mutua entre ambos devanados,  $C$  la capacidad del condensador de sintonía y  $F_0$  la frecuencia de oscilación. El factor de realimentación de este circuito es  $\beta=L_2/L$  y debe ser menor de 1.

Las bobinas  $L_1$  y  $L_2$  constituyen realmente un autotransformador en el cual  $L_1$  es el primario y  $L_2$  el secundario. La inductancia de  $L_2$  es siempre mayor que la de  $L_1$ .

El condensador  $C_1$  suministra la señal de realimentación a la compuerta del FET y el condensador  $C_2$  desacopla el nivel de CC de la señal de salida.



La inductancia mutua  $M$  depende del grado de acoplamiento de los dos devanados y varía con la ubicación del núcleo. Al mover el núcleo, cambia la inductancia mutua y, en consecuencia, varía la frecuencia. Este es un procedimiento muy usual en la alineación o ajuste de los receptores de radio.

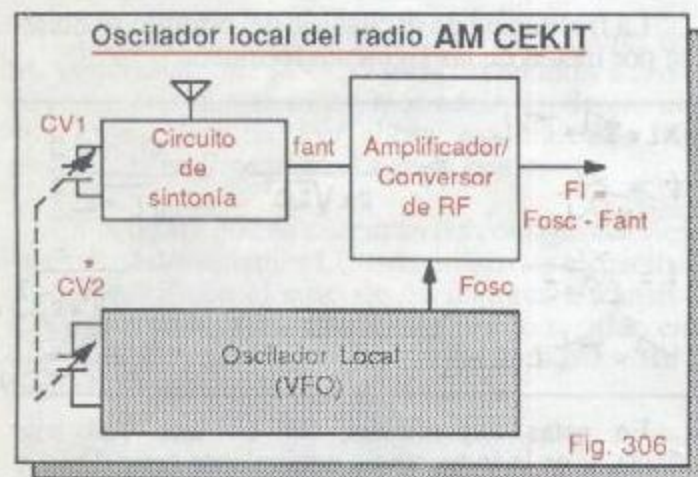
### El oscilador local de RF del radio AM CEKIT

El oscilador local del radio AM CEKIT es similar al descrito anteriormente, pero utiliza un transformador y un transistor NPN.

La frecuencia la determinan el condensador variable  $CV2$  y la bobina osciladora  $L2$ , identificable por su núcleo rojo. Los ajustes finos de frecuencia se realizan mediante el condensador trimmer  $CT2$ . El alineamiento se efectúa desplazando el núcleo dentro de la bobina.

La función del oscilador local del radio AM CEKIT es producir la señal interna de batido del receptor.

Por el proceso de heterodinación, esta señal se combina con la captada en el circuito de antena, produciéndose como resultado una señal de frecuencia intermedia (FI) a la salida del mezclador o convertidor de RF (figura 306).



El oscilador local entrega una señal sinusoidal pura, sin modulación, de frecuencia variable y amplitud constante. Los osciladores con estas características se denominan VFOs (*osciladores de frecuencia variable*) y se utilizan ampliamente en los receptores de comunicaciones que trabajan en base al principio heterodino.

El oscilador local es sintonizable sobre el rango comprendido entre 995 y 2055 KHz y su frecuencia es siempre 455 KHz más alta que la de la portadora de RF captada en el circuito de sintonía.

Para lograr este sincronismo, los condensadores variables de ambos circuitos ( $CV1$  y  $CV2$ ) trabajan en "tandem", es decir, están acoplados mecánicamente al mismo eje (figura 307).

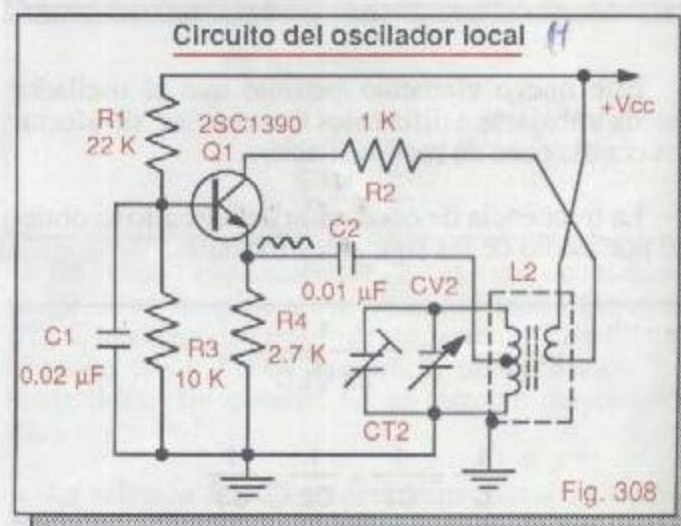


En el diagrama del radio este acoplamiento se representa por una línea punteada.

Así, al variar la frecuencia de resonancia del circuito de antena, varía automáticamente la del oscilador local, manteniéndose entre ellas una diferencia constante de 455 KHz.

La amplitud de la señal suministrada es del orden de 300 a 500 mVpp. El rango de capacitancias de  $CV1$  y  $CV2$  es de 30 a 300 pF, aproximadamente.

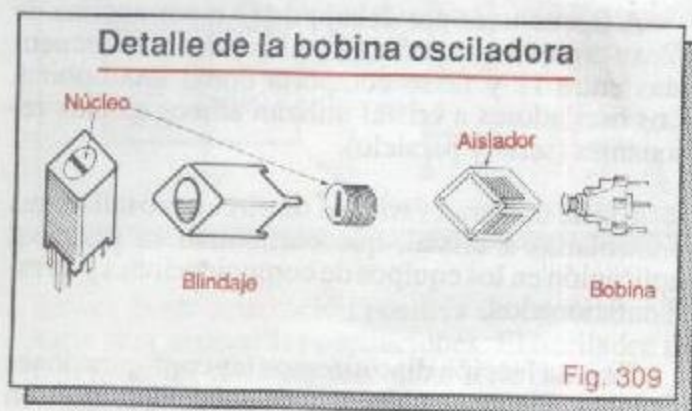
En la figura 308 se muestra el diagrama simplificado del oscilador local. Se han omitido, por comodidad, los componentes asociados al amplificador de RF y al mezclador. Como puede verse, se trata de un oscilador Hartley con transistor y acoplado por transformador.



La frecuencia del oscilador local la determinan el condensador variable  $CV2$ , la bobina  $L2$  y el condensador ajustable o "trimmer"  $CT2$ . Este último se utiliza para realizar ajustes finos de frecuencia.



La bobina L2 se denomina también "osciladora" y se identifica por su núcleo rojo móvil (figura 309). Variando la posición del núcleo, varía la inductancia y, en consecuencia, la frecuencia de oscilación.



El elemento activo básico de la etapa osciladora es el transistor NPN Q1. La señal de salida aparece entre colector y tierra.

La señal de realimentación positiva, necesaria para sostener las oscilaciones sinusoidales, la suministra el devanado primario de L2. Esta señal se induce en el secundario y se inyecta al emisor de Q1 mediante el condensador C2.

El transistor amplifica la señal de realimentación y suministra una muestra de la misma al primario de L2. Este la induce en el primario, repitiéndose el proceso.

La derivación en el primario de L2 está localizada de modo que se suministre únicamente la cantidad de realimentación necesaria para asegurar la operación confiable del circuito.

El condensador C1, conecta dinámicamente a tierra la base de Q1, permitiendo que la señal de realimentación quede aplicada entre emisor y tierra. Las resistencias R1, R2, R3 y R4 proveen la polarización de corriente continua de la etapa.

El mecanismo de oscilación de un circuito RLC resonante, como el utilizado en nuestro oscilador local, se explica en la Lección 19.

Al conectar la fuente de alimentación, se produce un pulso de corriente que carga el condensador CV2 e inicia automáticamente las oscilaciones.

### Importancia de la estabilidad de frecuencia en los osciladores de RF

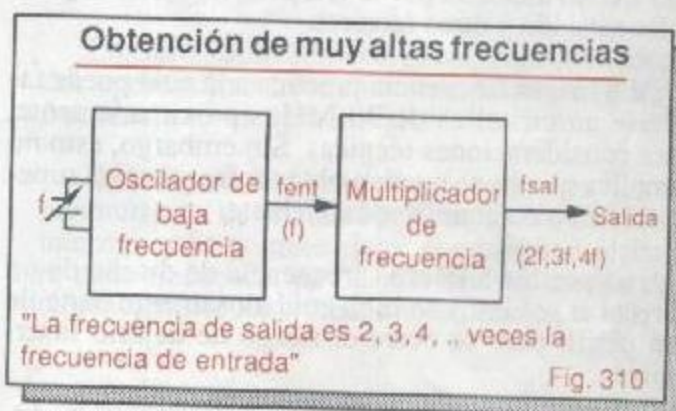
La consideración de diseño más importante de un oscilador de RF es la *estabilidad de frecuencia*.

La estabilidad es una medida de la capacidad del circuito de generar una señal de frecuencia constante y depende, principalmente, de la calidad de los componentes utilizados en su fabricación.

Los osciladores de RF más estables se construyen con componentes de precisión y se alimentan con fuentes reguladas. Los componentes de precisión (condensadores, bobinas, cristales, etc.) son prácticamente insensibles a los cambios de temperatura, presión, humedad, voltaje y a las vibraciones mecánicas, entre otros factores.

La estabilidad de un oscilador depende también de la frecuencia de trabajo. A muy altas frecuencias, resulta difícil mantener la estabilidad dentro de límites razonables.

En estos casos se utilizan frecuentemente osciladores de baja frecuencia, seguidos de multiplicadores, los cuales elevan la frecuencia inicial al valor final deseado (figura 310). La estabilidad del oscilador básico debe ser alta.



La inestabilidad de un oscilador de RF puede ser también causa de prácticas de diseño y ensamble deficientes. Para mejorar la estabilidad, es útil observar las siguientes recomendaciones generales:

- Utilizar siempre baterías o fuentes de alimentación reguladas, con buen filtraje. Las variaciones de voltaje producen desplazamientos de frecuencia, alterando las condiciones de operación del oscilador.
- Utilizar bobinas de núcleo de aire o cerámico y condensadores de poliéster o de mica y plata en la red determinadora de frecuencia. Mientras sea posible, evitar el uso de bobinas de núcleo magnético, porque su inductancia tiende a cambiar con las variaciones de temperatura.
- Construir el oscilador sobre un chasis rígido y cerciorarse de que todos los componentes estén firmemente asegurados en su sitio. Si es posible, inmovilizar las espiras de la bobina osciladora con cemento.



plástico y encerrar el circuito dentro de un blindaje metálico.

En general, un oscilador de RF de buena calidad debe generar una señal estable, con un mínimo de ruido y espectralmente pura, es decir, sin distorsión ni espúreas. Las *espúreas* son oscilaciones parásitas, indeseables, que ocurren a frecuencias diferentes a la de diseño.

Una forma de minimizar las espúreas, es reducir el Q del circuito determinante de frecuencia, sacrificándose así la ganancia.

### Osciladores a cristal

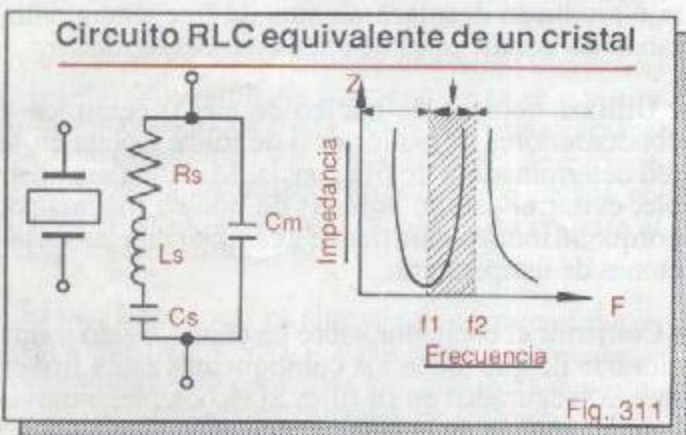
Los osciladores a cristal, se caracterizan por utilizar como elemento determinante de la frecuencia de oscilación un cristal piezoeléctrico, generalmente de cuarzo, que ha sido tallado a unas dimensiones específicas.

La frecuencia a la cual oscila el cristal depende, fundamentalmente, de su espesor y es muy estable, no siendo afectada por la temperatura, el voltaje de alimentación y otros factores.

La mayor frecuencia práctica a la cual puede tallarse un cristal es de 30 MHz aproximadamente, por consideraciones técnicas. Sin embargo, esto no implica que no se puedan obtener frecuencias superiores, como veremos más adelante.

Es posible alterar la frecuencia de diseño de un cristal si se abre y se lima cuidadosamente parte de su perfil, pero se corre el riesgo de dejarlo inservible.

El elemento activo de un oscilador a cristal puede ser una válvula o tubo, un transistor, un FET o un circuito integrado. Para efectos prácticos, un cristal de cuarzo es equivalente, en su comportamiento eléctrico, a un circuito RLC mixto como el que muestra la figura 311.



Las propiedades reactivas del dispositivo pueden resumirse en los siguientes términos.

A la frecuencia  $f_1$ , el cristal exhibe resonancia serie ( $Z$  muy baja). A la frecuencia  $f_2$ , exhibe resonancia paralelo ( $Z$  muy alta).

A frecuencias por debajo de  $f_1$  o por encima de  $f_2$ , se comporta como un condensador y a frecuencias entre  $f_1$  y  $f_2$  se comporta como una bobina. Los osciladores a cristal utilizan ambos efectos resonantes (serie y paralelo).

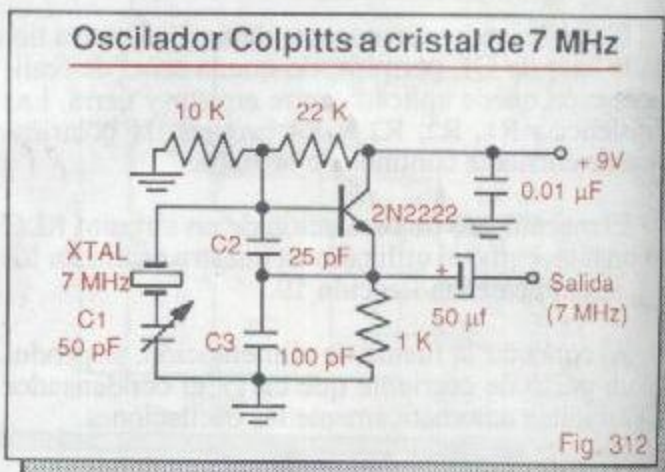
Existe una gran variedad de circuitos osciladores controlados a cristal, que encuentran su principal aplicación en los equipos de comunicaciones y de radioaficionados.

En esta lección discutiremos las configuraciones Colpitts, Pierce, armónica y de sobretono, que son las más representativas.

La mayoría de los osciladores a cristal, utilizan condensadores externos para producir la función de realimentación. Sin embargo, algunos circuitos no los necesitan. En estos últimos, se aprovechan las capacitancias internas del transistor o del dispositivo activo utilizado como amplificador.

En la figura 312 se muestra el circuito práctico de un oscilador a cristal de 7 MHz tipo Colpitts. El divisor capacitivo formado por  $C_2$  y  $C_3$  provee la realimentación positiva de voltaje necesaria para generar las oscilaciones.

El condensador  $C_1$  actúa como trimmer y se utiliza para ajustar la frecuencia del cristal al valor para el cual fue tallado.



En la figura 313 se muestra el circuito práctico de un oscilador a cristal de 3.5 MHz tipo Pierce. El circuito resonante serie formado por  $C_1$  y el cristal



### Oscilador Pierce a cristal de 3.5MHz

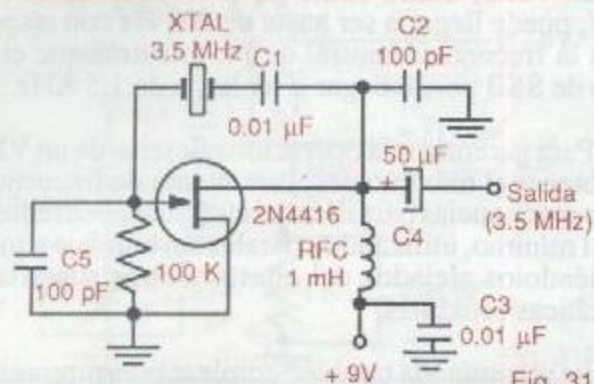


Fig. 313

proporciona la realimentación positiva de corriente necesaria para generar las oscilaciones. El oscilador tipo Pierce utiliza el efecto resonante serie del cristal.

En la figura 314 se muestra el circuito práctico de un oscilador armónico o Miller. Este tipo de montaje se utiliza para obtener frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de oscilación del cristal.

### Oscilador armónico de 14 MHz

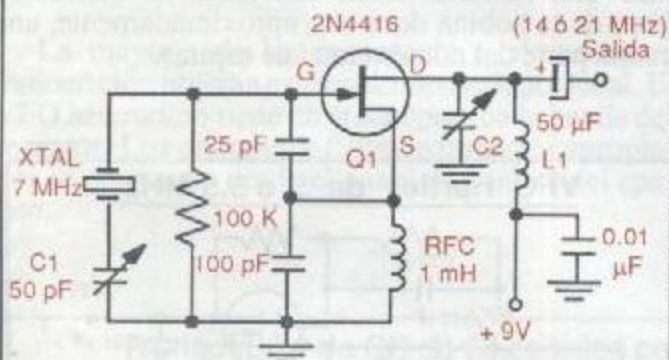


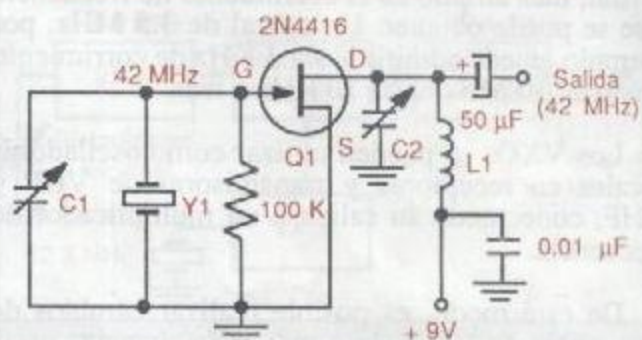
Fig. 314

La frecuencia armónica deseada, se sintoniza mediante el circuito resonante de salida, constituido por L1 y C2. Este oscilador utiliza el efecto resonante paralelo del cristal.

En la figura 315 se muestra el circuito práctico de un oscilador de sobretono. En este tipo de montaje, el cristal se talla para que oscile a una frecuencia llamada "sobretone", la cual es un múltiplo impar de su frecuencia fundamental de oscilación.

La frecuencia de sobretono deseada (3f, 5f, etc.), se programa mediante el circuito sintonizado de salida, constituido por L1 y C2.

### Oscilador de tercer sobretono de 42 MHz



Y1: Cristal de sobretono de 42 MHz

Fig. 315

El oscilador de sobretono emplea el efecto resonante serie del cristal y se caracteriza por entregar una señal de alta pureza, sin espúreas. El estado actual de la tecnología permite obtener cristales que operan hasta en la 11ª frecuencia de sobretono.

En la cápsula de un cristal tallado para este propósito no se indica la frecuencia fundamental sino la de sobretono utilizable.

En ciertas aplicaciones, se requiere que el oscilador opere solo a frecuencias específicas. Para cada frecuencia se necesita un cristal diferente.

En la figura 316 se muestra un circuito típico de conmutación de cristales para oscilador Colpitts. El interruptor S1 permite elegir el cristal apropiado para cada frecuencia de operación. Los diodos aíslan eléctricamente los cristales no utilizados.

### Conmutación de cristales mediante diodos

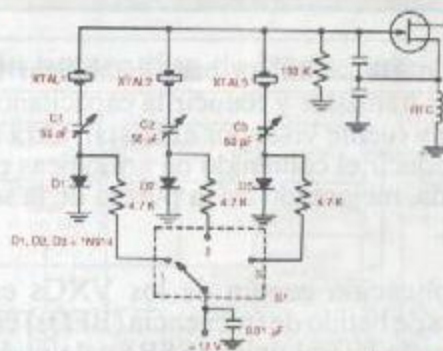


Fig. 316

### Osciladores a cristal de frecuencia variable (VXOs)

Los osciladores a cristal de frecuencia variable (VXOs) se utilizan en cambio de los osciladores de cristal convencionales cuando se necesita desplazar o correr la frecuencia del cristal unos pocos KHz respecto a su valor central.



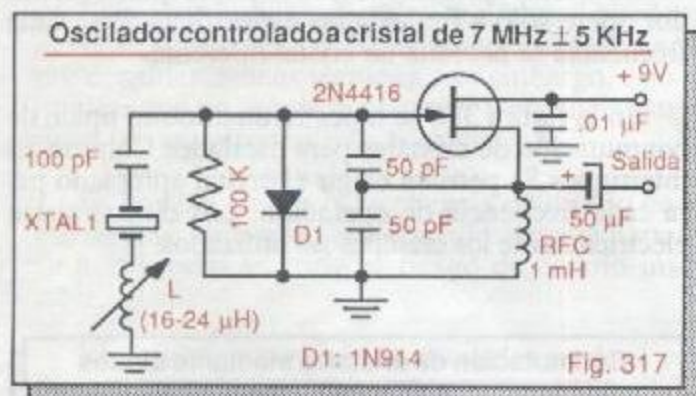
Entre más alta sea la frecuencia fundamental del cristal, más amplio es el corrimiento de frecuencia que se puede obtener. Un cristal de 3.5 MHz, por ejemplo, puede admitir hasta 3 KHz de corrimiento y uno de 10 MHz hasta 10 KHz o más.

Los VXOs se pueden utilizar como osciladores locales en receptores y transmisores de VHF y UHF, conectando su salida a un multiplicador de frecuencia.

De este modo, es posible realizar cambios de frecuencia de 100 KHz o más, a frecuencias hasta de 140 MHz o superiores, utilizando, por ejemplo, cristales de 7 MHz.

En la figura 317 se muestra el diagrama de un VXO Colpitts a FET utilizando un cristal de cuarzo de 7 MHz. El desplazamiento de la frecuencia se obtiene ajustando la inductancia de la bobina L.

El circuito provee hasta 5 KHz de corrimiento por debajo de la frecuencia de tallado del cristal, permitiendo obtener oscilaciones sinusoidales entre 6995 y 7000 KHz.



El diodo D1 se utiliza para estabilizar la polarización del transistor y reducir la capacitancia entre compuerta y fuente vista por el cristal. Otra función de D1 es reducir el contenido de armónicas en la señal de salida, mejorando así la pureza de la señal suministrada.

Una aplicación común de los VXOs es como osciladores de batido de frecuencia (BFOs) en receptores de banda lateral única (SSB) y de onda continua (CW) o telegrafía.

El BFO se encarga de crear internamente la portadora suprimida durante la transmisión y la reinserta en el modulador, para que así la señal captada pueda ser procesada.

Los receptores de banda lateral única y de telegrafía se discuten en el volumen de banda ciudad-

dana y radioafición. El desplazamiento típico de un VXO, usado como BFO en la recepción de CW, puede llegar a ser hasta de 700 Hz con respecto a la frecuencia central de FI, mientras que el de uno de SSB puede llegar a ser hasta de 1.5 KHz.

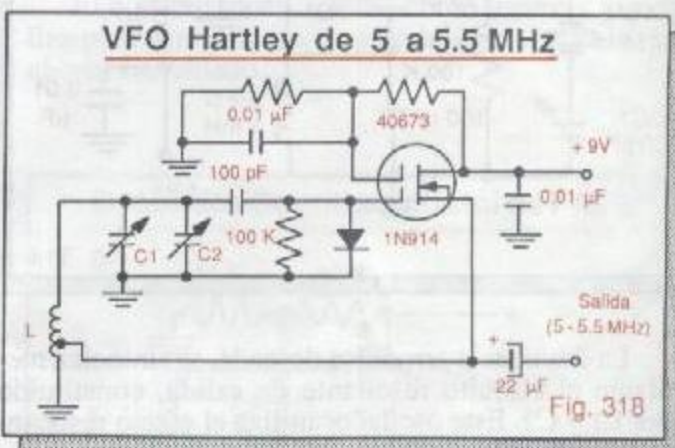
Para garantizar la operación eficiente de un VXO y obtener el máximo desplazamiento de frecuencia, las capacitancias parásitas del circuito deben reducirse al mínimo, utilizando cristales sin blindaje y manteniéndolos alejados del chasis y otras superficies metálicas próximas.

Se recomienda también emplear interruptores rápidos y condensadores de baja capacitancia.

### Osciladores de frecuencia variable (VFOs)

Los osciladores de frecuencia variable (VFOs) son similares en su funcionamiento a los VXOs descritos anteriormente. Sin embargo, los VFOs no utilizan cristales y tienen rangos de variación de frecuencia más amplios. Los VFOs prácticos pueden operar a frecuencias hasta de 10 MHz. Para frecuencias más altas se utilizan VFOs heterodinos.

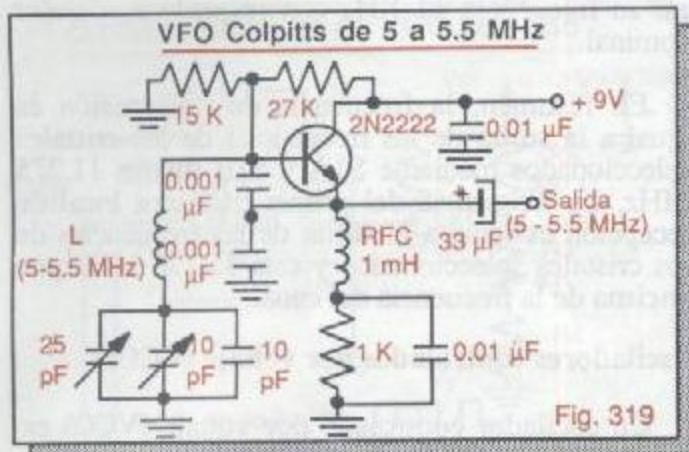
En la figura 318 se muestra el circuito práctico de un VFO tipo Hartley con MOSFET. La frecuencia del oscilador la determinan la bobina L1, el condensador variable C1 y el trimmer C2. Para garantizar una realimentación adecuada, la derivación (tap) de la bobina debe ser, aproximadamente, una cuarta parte del número total de espiras.



En la figura 319 se muestra el circuito práctico de un VFO tipo Colpitts con transistor bipolar. En el diagrama se indican los componentes determinantes de la frecuencia de oscilación. Este oscilador es muy estable si se utilizan condensadores con dieléctrico de poliéster o mylar.

Los circuitos mostrados anteriormente han sido diseñados para cubrir la banda de frecuencias entre



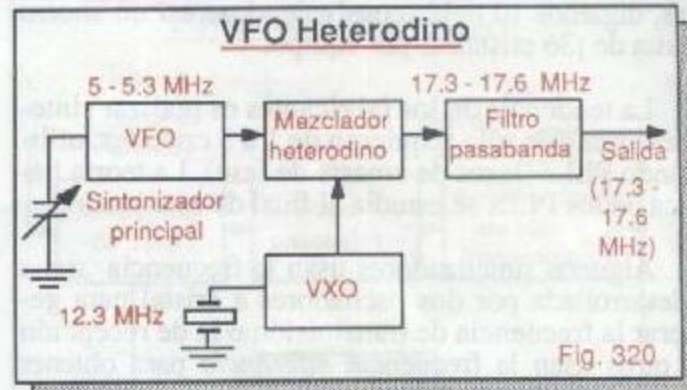


5 y 5.5 MHz (SSB). Sin embargo, pueden adaptarse a otras frecuencias de operación, utilizando los valores dados como referencia.

Para hacerlo se calcula la reactancia de los condensadores a 5 MHz y se utiliza esta información para determinar los valores en pF requeridos para otras frecuencias.

En la figura 320 se muestra el principio de operación de un VFO heterodino. La salida de un VFO, como los descritos anteriormente, se heterodina en un mezclador con la salida de un VXO para suministrar una frecuencia resultante que es la suma o la diferencia de ambas.

La mayoría de los receptores modernos para radioafición utilizan este estilo de oscilador local. El VFO heterodino tiene un cristal para cada banda del receptor. Los cristales y filtros pasabanda apropiados se conmutan desde el panel de control del aparato.



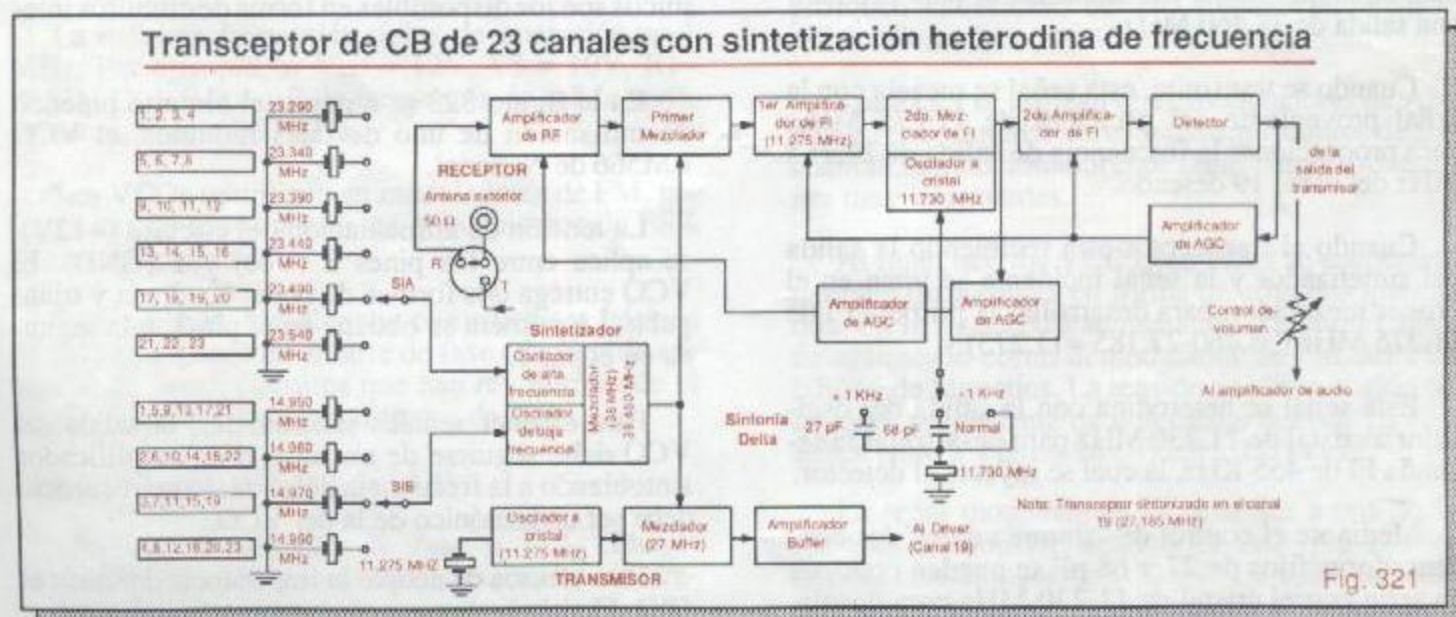
Una versión moderna de los VFOs heterodinos son los sintetizadores heterodinos de frecuencia que se estudian enseguida.

Este tipo de circuitos es muy popular en los transceptores de banda ciudadana y su propósito es reducir el número total de cristales necesarios para cubrir los 40 canales en que operan normalmente estos equipos.

### Sintetizadores heterodinos de frecuencia para banda ciudadana

Los circuitos de transmisión y recepción de un transceptor de banda ciudadana (CB) utilizan cristales para asegurar el cumplimiento de los rigurosos requisitos de estabilidad y precisión de frecuencia impuestos por las autoridades que regulan este tipo de comunicaciones, como la FCC en los Estados Unidos.

La *sintetización de frecuencia* permite operar todos los canales de CB con sólo unos pocos cristales.





les, digamos 10 ó 12, consiguiéndose así un ahorro hasta de ¡36 cristales! por equipo.

La tendencia de los fabricantes es realizar sintetizadores que sólo requieran de 1 a 3 cristales, utilizando PLLs (lazos de amarre de fase). La teoría básica de los PLLs se estudia al final de esta lección.

Algunos sintetizadores usan la frecuencia *suma* desarrollada por dos osciladores a cristal para generar la frecuencia de transmisión o la de recepción y otros usan la frecuencia *diferencia* para obtener los mismos resultados.

Sin importar si la frecuencia desarrollada por el sintetizador es la de transmisión o la de recepción, la otra frecuencia se genera por batido de la frecuencia sintetizada con la frecuencia de salida de un tercer oscilador.

En la figura 321 se muestra el diagrama funcional de bloques de un transceptor de banda ciudadana que utiliza el principio de sintetización heterodina de frecuencia y emplea sólo 10 cristales para cubrir los 23 canales. Veamos cómo lo hace.

La salida del sintetizador, en este circuito está 11.275 MHz *por encima* de la frecuencia del canal y se usa como frecuencia de inyección para el primer mezclador del receptor. La frecuencia diferencia resultante (11.275 MHz) alimenta el primer amplificador de FI.

Cuando el transceptor está transmitiendo, el mezclador del sintetizador alimenta señales en un mezclador de 27 MHz, el cual genera frecuencias diferencia en el canal deseado.

En el canal 19, por ejemplo, las señales de los osciladores de 23.490 MHz y 14.970 MHz se suman en el mezclador del sintetizador para producir una salida de 38.460 MHz.

Cuando se transmite, esta señal se mezcla con la señal proveniente del oscilador de 11.275 MHz, para proporcionar la frecuencia de salida de 27.185 MHz del canal 19 deseado.

Cuando el transceptor está recibiendo la salida del sintetizador y la señal incidente se unen en el primer mezclador, para desarrollar la primera FI de 11.275 MHz ( $38.460 - 27.185 = 11.275$ ).

Esta señal se heterodina con la salida del oscilador a cristal de 11.730 MHz para desarrollar la segunda FI de 455 KHz, la cual se inyecta al detector.

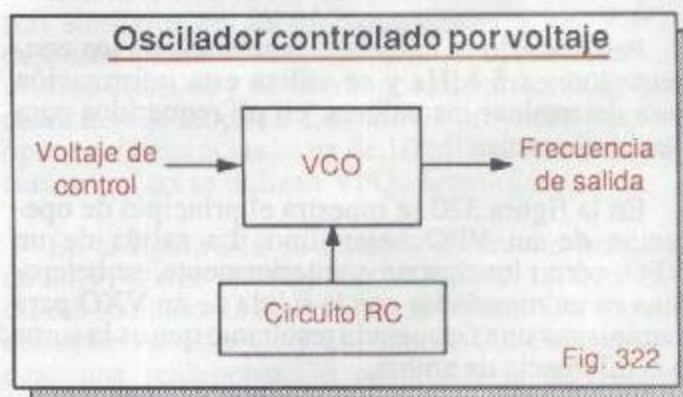
Mediante el control de "sintonía delta" los condensadores fijos de 27 y 68 pF se pueden conectar en serie con el cristal de 11.730 MHz para despla-

zar su frecuencia  $\pm 1$  KHz con respecto a su valor nominal.

En resumen, la frecuencia de transmisión es igual a la **suma** de las frecuencias de los cristales seleccionados mediante S1A y S1B **menos** 11.275 MHz. La frecuencia del primer oscilador local de recepción es igual a la **suma** de las frecuencias de los cristales seleccionados y está 11.275 MHz **por encima** de la frecuencia del canal.

### Osciladores controlados por voltaje (VCOs)

Un oscilador controlado por voltaje (VCO) es un circuito que genera una señal de salida cuya frecuencia es proporcional al valor de un voltaje CC aplicado a su entrada de control (figura 322).



En otras palabras, un VCO es un convertidor de voltaje a frecuencia. La forma de onda de la señal generada por un VCO es, generalmente, cuadrada o triangular.

Los VCOs se pueden construir a partir de componentes discretos, pero los más sencillos y económicos son los disponibles en forma de circuitos integrados.

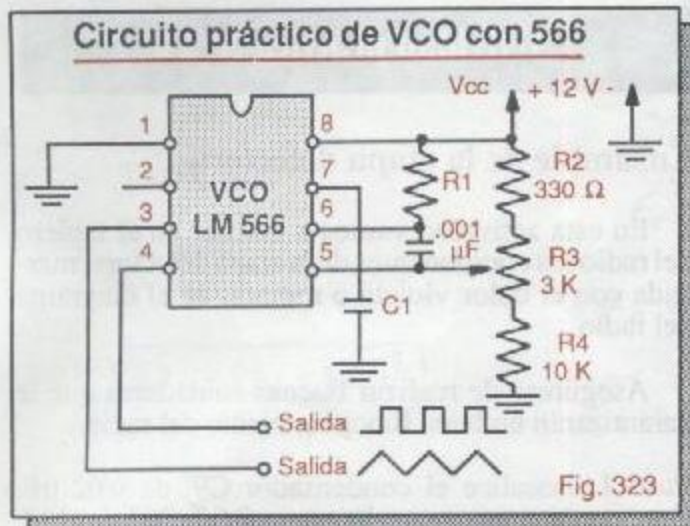
En la figura 323 se muestra el circuito práctico de utilización de uno de tales módulos, el VCO LM566 de National.

La tensión de alimentación del circuito (+12V), se aplica entre los pines 8 (Vcc) y 1 (GND). El VCO entrega dos formas de onda: cuadrada y triangular. La primera se obtiene en el pin 3 y la segunda en el pin 4.

Para obtener señales sinusoidales, la salida del VCO debe seguirse de un filtro o un amplificador sintonizado a la frecuencia deseada. Esta frecuencia debe ser un armónico de la del VCO.

Para efectos de acople la impedancia de salida es 50Ω. El voltaje de control se aplica al pin 5 y pro-





viene del divisor de tensión resistivo formado por R2, R3 y R4. El condensador de 0.001 µF entre los pines 5 y 6 protege al circuito de oscilaciones parásitas.

El condensador C1, conectado entre el pin 7 y tierra, y la resistencia R1, conectada entre el pin 6 y Vcc, determinan, junto con el voltaje de control aplicado al pin 5, la frecuencia de la señal de salida así:

$$F_{sal} = 2.4 \frac{(V_{cc} - V_5)}{V_{cc} (R1 \times C1)}$$

En esta expresión, V5 es el voltaje de control aplicado al pin 5 y debe estar entre 3/4 de Vcc y Vcc. El valor de R1 debe ser siempre de 2 a 20 KΩ.

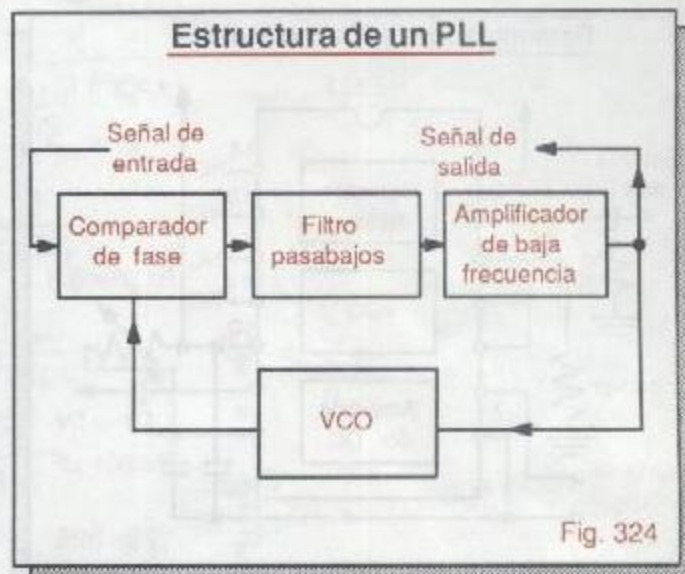
La máxima frecuencia típica de operación es 1 MHz. Por ejemplo, si Vcc = 12V, V5 = 10V, R1 = 2KΩ y C1 = 0.001 µF, la frecuencia de salida sería, entonces, Fsal = 200 KHz.

Los VCOs se utilizan en moduladores de FM, generadores de tonos y señales, transmisores de FSK y otras aplicaciones.

Son, además, los bloques constructivos básicos de los PLLs (lazos de amarre de fase o bucles de enganche de fase), circuitos que han revolucionado el diseño de los receptores modernos de radio.

### Lazos de amarre de fase (PLLs)

Un lazo de amarre de fase o PLL (Phase-Locked Loop) es un circuito de control de frecuencia, constituido por un comparador de fase, un



filtro pasabajos, un amplificador de baja frecuencia y un oscilador controlado por voltaje (VCO), interconectados tal como se muestra en la figura 324.

En condiciones normales, el VCO oscila a la misma frecuencia de la señal de entrada. Si la frecuencia de esta señal cambia, el comparador de fase produce un voltaje de error, proporcional a la diferencia de frecuencias.

Este voltaje se aplica al VCO y corrige su frecuencia, hasta sincronizarla o engancharla con la de la señal de entrada. El proceso se repite indefinidamente.

El PLL detecta cualquier cambio en la frecuencia de la señal de entrada y lo convierte en un voltaje de error que se suministra amplificado a la salida.

En consecuencia, un PLL es, intrínsecamente, un demodulador de FM. El filtro determina el ancho de banda del circuito y garantiza que sólo se amplifiquen variaciones de baja frecuencia, es decir, señales de audio.

Los PLLs se utilizan en demoduladores de AM, FM y FSK, sintetizadores y multiplicadores de frecuencia, acondicionadores de señal y otras aplicaciones muy interesantes.

Al igual que los VCOs, los PLLs se encuentran también disponibles en forma de circuitos integrados. En la figura 325 se muestra un ejemplo típico de aplicación como demodulador de FM del PLL NE565 de Signetics. La tensión de alimentación del circuito, proveniente de una fuente dual de ±5V, se aplica entre los pines 10 (+Vcc) y 1 (-Vcc).

La señal modulada de FI se aplica a una de las entradas de señal del detector de fase (pin 2) a través del condensador de 0.01 µF. La señal de salida de audio se obtiene entre los pines 6 y 7.



### Ensamble de la etapa detectora





# Mezcladores o conversores de RF

## Generalidades

Un mezclador o conversor es un circuito que convierte o traslada una frecuencia, o una banda de frecuencias, de un valor a otro. Los mezcladores son parte integral de todo receptor superheterodino de comunicaciones.

En la figura 326 se muestra el diagrama de bloques de un mezclador de frecuencia asociado a un filtro pasabanda. El mezclador propiamente dicho puede ser un transistor, un FET, una válvula, un circuito integrado, etc.

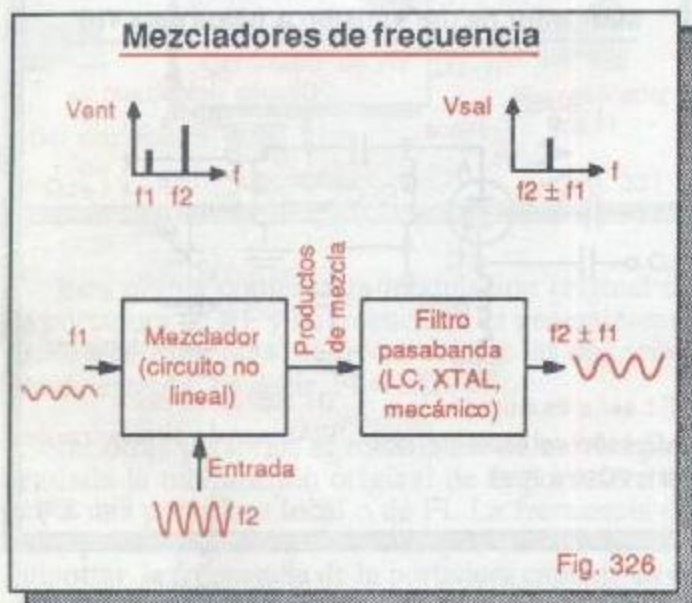


Fig. 326

A las entradas del bloque mezclador se aplican dos señales de diferente frecuencia cuyos valores son  $f_1$  y  $f_2$ .

A la salida del filtro se obtiene una señal que tiene una frecuencia igual a la suma o a la diferencia de frecuencias de las señales de entrada ( $f_2 \pm f_1$ ). La señal  $f_2$  proviene generalmente de un oscilador local.

En el caso de un mezclador de transmisión,  $f_1$  proviene de las etapas de FI. La señal de salida ( $f_1 + f_2$ ) se aplica al amplificador de potencia de RF.

En el caso de un mezclador de recepción,  $f_1$  proviene del amplificador de RF o del circuito de sintonía. La señal de salida ( $f_2 - f_1$ ) se aplica a las etapas amplificadoras de FI.

El proceso de mezcla de las dos señales de entrada origina a la salida del mezclador una gran variedad de *productos de mezcla*, es decir, de señales cuyas frecuencias son una combinación de las frecuencias de entrada (figura 327).

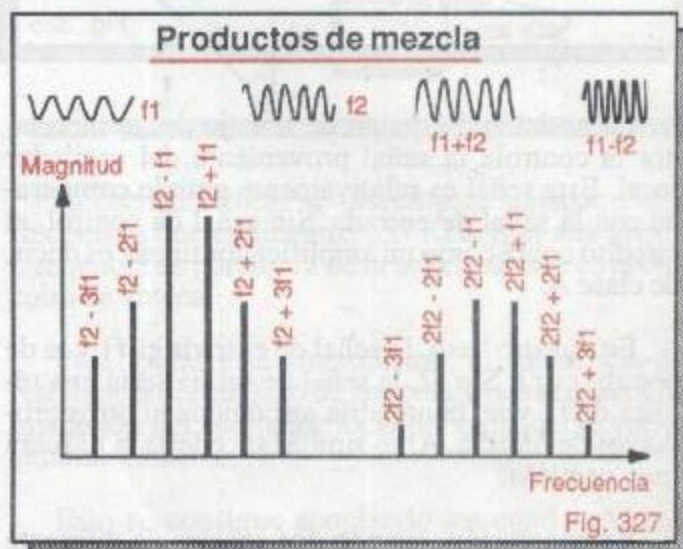


Fig. 327

Los productos de mezcla más notables son:

- Las frecuencias originales  $f_1$  y  $f_2$
- La frecuencia suma ( $f_1 + f_2$ )
- La frecuencia diferencia ( $f_2 - f_1$ )

Por ejemplo, si  $f_1 = 1$  MHz y  $f_2 = 1.3$  MHz, a la salida del mezclador obtendríamos, además de las señales de 1.5 MHz y de 1 MHz, una señal de 300 KHz ( $f_2 - f_1$ ) y una señal de 2.3 MHz ( $f_1 + f_2$ ).

El filtro selecciona únicamente uno de estos productos de mezcla, digamos la frecuencia diferencia, e ignora los demás, incluyendo sus armónicos, que también están presentes.

Los armónicos de una señal son señales cuya frecuencia es un múltiplo entero de la fundamental. Por ejemplo, los primeros armónicos de una señal de 1 MHz son 2 MHz (2º armónico), 3 MHz (3º armónico), 4 MHz (4º armónico), etc.

Desde otro punto de vista, un mezclador es, básicamente, un amplificador no lineal. En este tipo de circuitos, el punto de trabajo está cambiando permanentemente de posición y, en consecuencia, la señal de salida no es una réplica de la señal de entrada (figura 328).





La posición del punto de trabajo de un mezclador la controla la señal proveniente del oscilador local. Esta señal es relativamente grande comparada con la señal de entrada. Sin señal de control, el circuito opera como un amplificador lineal, es decir, de clase A.

En nuestro caso, la señal de entrada es  $f_1$  y la de control es  $f_2$ . Sin  $f_2$ , la señal de salida sería una réplica de  $f_1$  y no contendría armónicos ni otros productos de mezcla. Algo similar sucedería si  $f_2$  fuera muy pequeña.

En conclusión, cuando dos señales de diferente frecuencia se aplican a un amplificador no lineal, la señal de salida de este último contiene los armónicos de las señales de entrada y otras nuevas frecuencias derivadas de la mezcla.

Entre estas nuevas frecuencias o productos de mezcla están la frecuencia suma y la frecuencia diferencia.

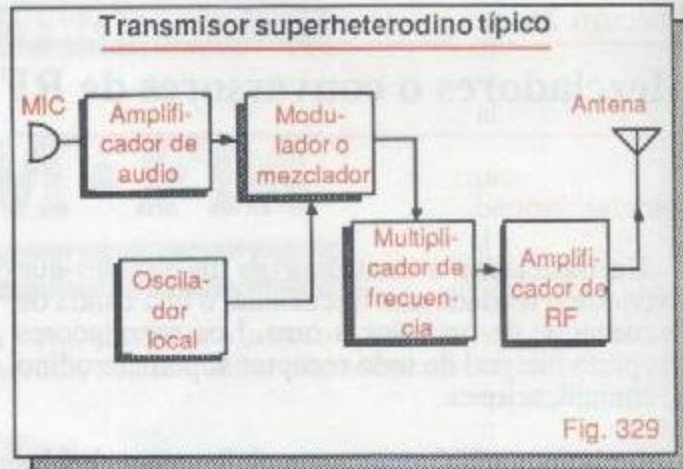
### Mezcladores de transmisión

En un transmisor superheterodino, el mezclador o modulador recibe la señal proveniente del amplificador de audio, la combina con la señal del oscilador local y produce a su salida una señal modulada de RF, la cual se aplica a un multiplicador que determina la frecuencia de transmisión (figura 329).

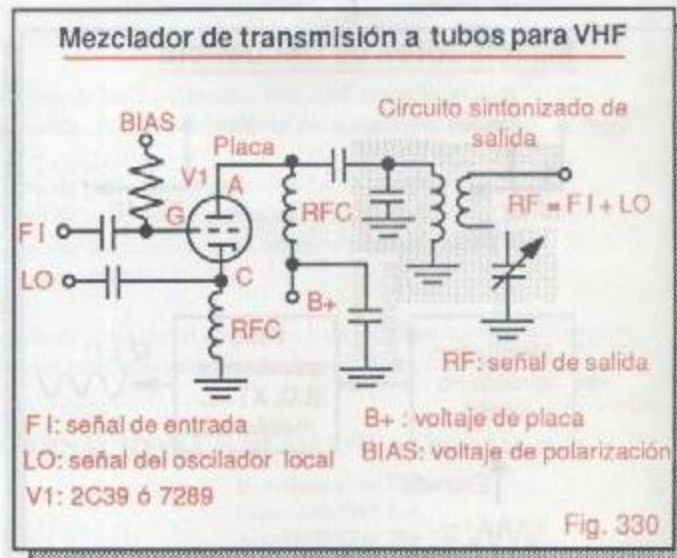
La señal modulada de RF conserva la modulación original de la señal del amplificador de audio.

Exceptuando los niveles de señal involucrados, los mezcladores de transmisión operan de manera similar a los utilizados en recepción. En la figura 330 se muestra el circuito de un mezclador de transmisión para VHF que utiliza un tubo de vacío como elemento activo.

La señal de entrada, proveniente de la última etapa de FI, se aplica a la rejilla de control. La señal



interna, proveniente del oscilador local, se inyecta al cátodo.



El tubo realiza la mezcla de las dos señales y suministra en la placa todos los productos de mezcla posibles, incluyendo las frecuencias originales, su suma, su diferencia y los armónicos de todas ellas.

El circuito sintonizado de salida selecciona la señal correspondiente a la suma de frecuencias y rechaza las demás. La señal de RF resultante se amplifica hasta alcanzar un nivel específico de potencia y luego se irradia al espacio.

Los mezcladores a tubos, en general, manejan mayores niveles de potencia que los mezcladores a transistores y reducen el número de etapas de amplificación necesarias para alcanzar una potencia de transmisión específica.

Esta es su principal, y única, ventaja. Su mayor desventaja son los altos niveles de potencia requeridos a la entrada.



Un circuito como el de la figura 330 puede entregar, directamente, hasta 15 W de potencia de salida pero, en contraste, necesita cerca de 100 W de potencia de entrada para operar eficientemente.

La mayor parte de esta potencia de entrada proviene del oscilador local. La relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada se denomina *ganancia de conversión*.

### Mezcladores de recepción

En un receptor superheterodino, el mezclador recibe la señal modulada de RF, la combina con la señal del oscilador local y produce a su salida la señal de frecuencia intermedia (FI) (figura 331).



Esta última conserva la modulación original de la portadora de RF y su frecuencia es generalmente igual a la diferencia de frecuencia de las dos señales de entrada. Es decir,  $FI = LO - RF$ .

En otras palabras, el mezclador de un receptor traslada la modulación original de la portadora de RF a una portadora local o de FI. La frecuencia de esta portadora interna es siempre la misma, sin importar la frecuencia de la portadora captada en el circuito de entrada.

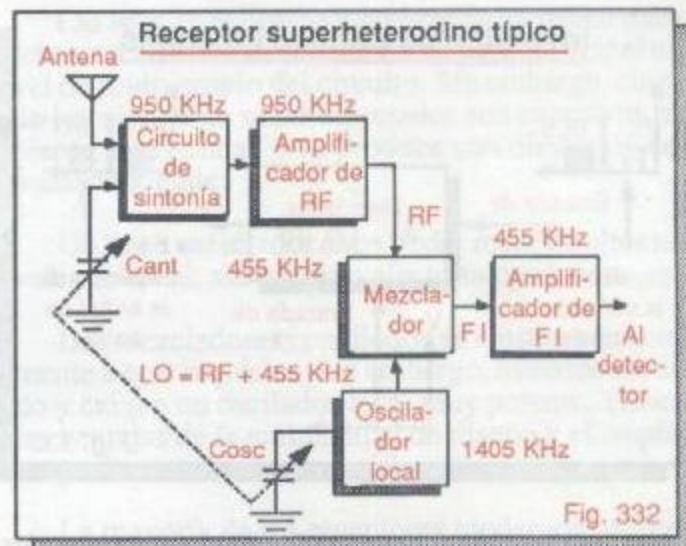
En AM, la portadora puede tener cualquier valor entre 530 y 1600 KHz. Sin embargo, la FI tiene siempre un valor de 455 KHz.

Al ser la señal de FI de frecuencia más baja que la de RF, puede ser amplificada más fácil y eficientemente.

En la figura 332 se muestran las etapas de entrada de un receptor típico de AM.

La señal modulada de RF, captada en el circuito de antena, se inyecta amplificada a una de las entradas del mezclador o conversor de RF.

La otra entrada recibe la señal proveniente del oscilador local (LO). El mezclador combina las dos señales y produce la señal modulada de FI.



El oscilador local se diseña para trabajar a una frecuencia que es siempre 455 KHz más alta que la frecuencia de portadora de la señal captada en el circuito de antena.

Para lograr este sincronismo, la frecuencia de resonancia del circuito de sintonía y la frecuencia de operación del oscilador local deben poderse variar simultáneamente.

Esto se consigue acoplando los condensadores variables de control de ambos circuitos en "tandem", es decir, sobre el mismo eje.

Así, al variar la frecuencia de resonancia del circuito de antena varía también la del oscilador local, y en la misma cantidad. Las líneas punteadas en el circuito de la figura 332 evidencian esta dependencia.

El proceso de mezclar, por ejemplo, una señal de 950 KHz proveniente del amplificador de RF con una de 1405 KHz proveniente del oscilador local, origina, además de las frecuencias de 950 y 1405 KHz, la frecuencia suma de 2355 KHz, la frecuencia diferencia de 455 KHz y todos los armónicos de estas 4 señales.

El mezclador entrega solamente la señal de 455 KHz, incluyendo sus bandas laterales, por poseer a su salida un tanque resonante sintonizado a esta frecuencia. Los demás productos de la mezcla son ignorados.

Una consecuencia interesante del proceso de mezcla es la inversión que experimentan las bandas laterales. Después de la conversión, la banda lateral inferior aparece como superior y viceversa.

En AM convencional, esta inversión no es importante para el posterior procesamiento de la señal

Curso de radio AM, FM, Banda Ciudadana y Radioafición 199



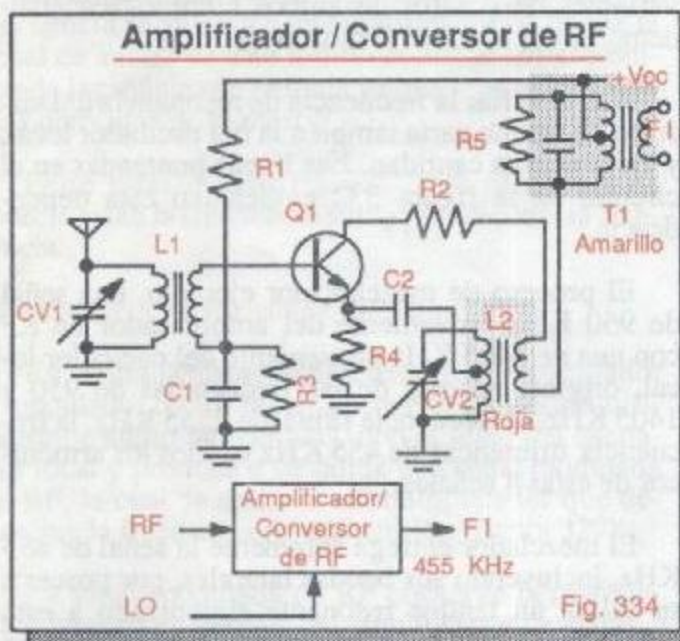
### Inversión de Bandas Laterales



por una razón muy sencilla: las dos bandas laterales contienen exactamente la misma información. En otros sistemas de comunicaciones (TV, SSB, etc.) sí es una consideración importante. La figura 333 ilustra gráficamente el fenómeno.

### El convertidor de RF del radio AM CEKIT

En la figura 334 se muestra el diagrama de bloques y el circuito completo del mezclador o convertidor de RF del radio AM CEKIT.



La etapa recibe dos señales de entrada: una muy débil, proveniente del circuito de sintonía y otra muy fuerte, proveniente del oscilador local.

El elemento activo de conversión es el transistor Q1. Este dispositivo, además de mezclador, actúa también como oscilador y como amplificador de RF. La señal del oscilador local se inyecta al emisor

y la de RF a la base. Los productos de la mezcla de las dos señales se obtienen en el colector.

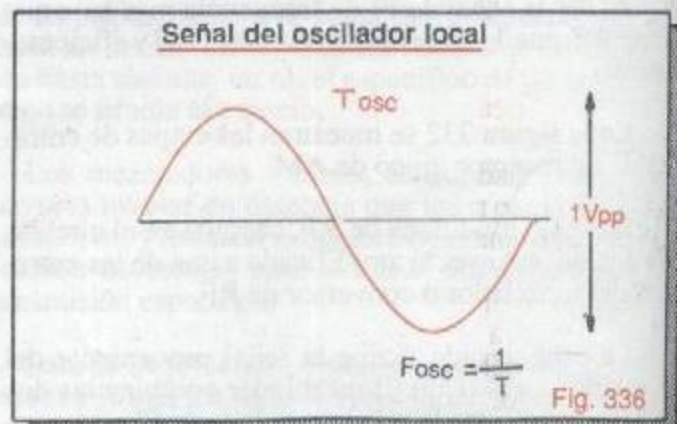
El circuito de sintonía, constituido por el condensador CV1 y la bobina L1, selecciona una determinada señal de RF y la aplica a la entrada del mezclador.

Desde el punto de vista de esta señal de entrada, el transistor Q1 se comporta como un amplificador clase A, es decir, las variaciones de corriente de la base se suceden dentro de la parte lineal de su curva característica (figura 335).



La operación de Q1 como amplificador de RF se describe con detalle en la Lección 24 de este curso. A pesar de la amplificación, la señal de RF sigue siendo muy débil comparada con la del oscilador local.

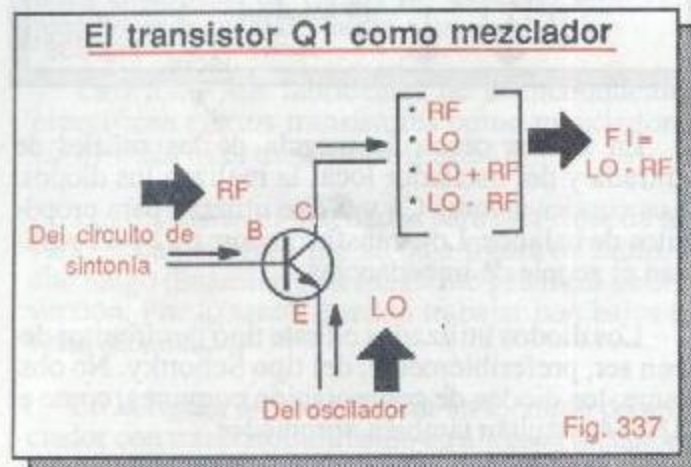
La señal del oscilador local, figura 336, debe ser espectralmente pura, sin armónicos, y relativamente grande. Esta última condición es importante para obligar al transistor Q1 a trabajar en la parte no lineal de sus curvas características. Como sabemos, la operación no lineal es básica para la mezcla.





Típicamente, la amplitud de la señal del oscilador local es del orden de 1 a 5 Vpp. Su frecuencia la determina el circuito tanque formado por la bobina L2 y el condensador CV2.

Como consecuencia de la mezcla de las dos señales, en el colector de Q1 obtendremos, además de las frecuencias originales de RF (radiofrecuencia) y de LO (oscilador local), la frecuencia suma ( $LO + RF$ ) y la frecuencia diferencia ( $LO - RF$ ). Esta última es la frecuencia intermedia (FI) de 455 KHz del proceso heterodino AM (figura 337).



En el colector de Q1 encontramos dos circuitos importantes: el primer transformador sintonizado de FI (T1, núcleo amarillo) y el primario de la bobina osciladora (L2, núcleo rojo).

El transformador T1 está sintonizado a 455 KHz. Su función consiste en seleccionar la señal de frecuencia intermedia ( $FI = LO - RF$ ) derivada del proceso de mezcla y acoplarla a la primera etapa de FI. La señal de FI conserva la misma modulación de la portadora de RF captada en el circuito de antena.

La bobina osciladora L2 está sintonizada a la frecuencia local de oscilación (LO). Esta señal se reinyecta al emisor de Q1 con el fin de sostener las oscilaciones. La operación del oscilador local se explica con detalle en la Lección 25 de este curso.

### Características generales de los mezcladores

El mezclador es una de las partes más importante de todo receptor de comunicaciones y el principal determinante de su rango dinámico.

El rango dinámico de un receptor se refiere a su habilidad para trabajar apropiadamente en presencia de señales débiles y fuertes, sin introducir distorsión ni ruido. La figura de ruido de un mezclador debe ser, idealmente, 0 dB.

Las señales aplicadas a un mezclador deben mantenerse a un nivel suficiente como para superar el nivel de ruido propio del circuito. Sin embargo, cuando los niveles de señal inyectados son excesivos, se pierde sensibilidad y se produce una distorsión demasiado grande.

Un buen mezclador debe poder manejar altos niveles de señal, sin que esto afecte su operación.

Los mezcladores con diodos se ajustan perfectamente a este requisito. Sin embargo, introducen ruido y exigen un oscilador local muy potente. Tienen las ventajas de la simplicidad de diseño y el amplio rango dinámico.

La mayoría de los receptores modernos utilizan FETs y transistores bipolares como mezcladores. Estos dispositivos son menos ruidosos que los diodos, proporcionan un buen rango dinámico y minimizan los requisitos de ganancia de las etapas subsiguientes.

Un buen mezclador también debe proveer un óptimo aislamiento entre el circuito de entrada y el oscilador local.

Un aislamiento deficiente puede provocar, por ejemplo, que la energía de RF del oscilador local se irradie al exterior, a través de la antena, causando interferencia en circuitos cercanos del mismo radio, o de otros aparatos.

En el caso de un mezclador con transistor bipolar, la señal de entrada, proveniente del amplificador de RF o del circuito de sintonía, se aplica generalmente a la base. La señal del oscilador local puede inyectarse a la base o al emisor.

La inyección por base exige menos niveles de señal pero no proporciona buen aislamiento. El mezclador del radio AM CEKIT utiliza inyección por emisor.

Para proveer un buen aislamiento entre la señal de entrada y la del oscilador local, resulta conveniente utilizar más de un dispositivo mezclador.

Este tipo de circuitos se denominan *mezcladores balanceados*. Los circuitos con un solo dispositivo mezclador se denominan *simplemente terminados*.

El balance evita que la energía inyectada en una de las entradas aparezca en la otra entrada o en la salida y se generen señales de mezcla indeseables. Esto es particularmente importante cuando se desea minimizar la distorsión de la señal de salida.

En un mezclador simplemente balanceado, únicamente el oscilador local está aislado. En un oscilador

Curso de radio AM, FM, Banda Ciudadana y Radioafición 201



lador doblemente balanceado, todos los tres puertos del mezclador (entrada, oscilador local y salida) están aislados entre sí.

La mayoría de los receptores utilizan algún tipo de filtro pasabanda a la salida del mezclador, con el fin de establecer la selectividad general del sistema. Este filtro rechaza los productos de mezcla no deseados, garantizando que sólo pase la frecuencia intermedia.

Para garantizar el óptimo funcionamiento de un mezclador, la señal proveniente del oscilador local debe ser espectralmente pura, es decir, no debe contener ruido ni otras frecuencias distintas a la deseada.

Para prevenir esto, puede utilizarse un filtro pasabanda entre la salida del oscilador local y la entrada del mezclador (figura 338).



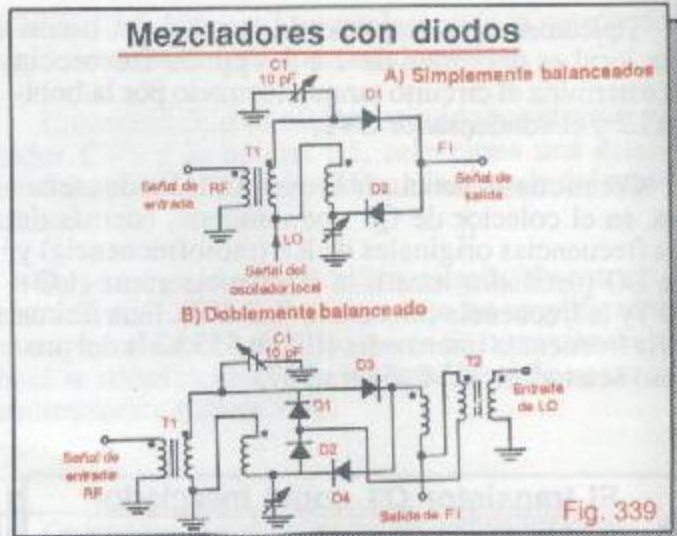
## Mezcladores con diodos

Los diodos resultan efectivos como mezcladores cuando se manejan señales fuertes. Los mezcladores con diodos ofrecen un amplio rango dinámico y son muy fáciles de implementar.

Sin embargo, este tipo de circuito introduce pérdidas y tiende a ser ruidoso. Para minimizar las pérdidas debe proveerse un buen acoplamiento de impedancias.

Los mezcladores con diodos son básicamente de dos tipos: simplemente balanceados y doblemente balanceados.

En la figura 339A se muestra un ejemplo de *mezclador simplemente balanceado* y en la figura 339B un ejemplo de *mezclador doblemente balanceado*.



En ambos casos, la mezcla de las señales de entrada y del oscilador local la realizan los diodos. Los condensadores C1 y C2 se utilizan para propósitos de balance. Los transformadores T1 y T2 realizan el acople de impedancias.

Los diodos utilizados en este tipo de circuitos deben ser, preferiblemente, del tipo Schottky. No obstante, los diodos de conmutación comunes, como el 1N914, resultan también apropiados.

Las razones por las cuales los diodos Schottky resultan efectivos como mezcladores de RF, especialmente en aplicaciones de VHF y UHF, son, entre otras:

- Operación a muy altas frecuencias.
- Bajo voltaje de conducción.
- Bajo nivel de ruido.
- Alta eficiencia de conversión.
- Alto voltaje de ruptura.
- Baja corriente de fuga.
- Muy baja capacitancia interna.
- Buena tolerancia a las variaciones de temperatura.

Los transformadores de acoplamiento T1 y T2 ("baluns") se devanan, generalmente, sobre núcleos toroidales de ferrita. En la figura 340 se muestra su aspecto típico.

## Mezcladores con transistores

Los transistores bipolares y los FETs se utilizan exitosamente como mezcladores en sustitución de los diodos Schottky o de conmutación cuando se manejan señales relativamente débiles.

En contraste con los diodos, que son elementos pasivos, los transistores, por ser activos, aseguran una ganancia de conversión. Esta característica mini-



## Transformadores de banda ancha

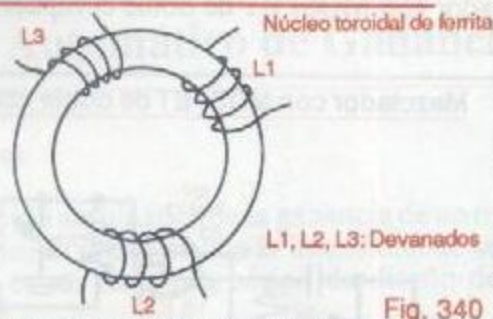


Fig. 340

miza el número de etapas de ganancia requeridas para llevar la señal de salida a un nivel dado.

Casi todos los fabricantes de semiconductores especifican ciertos transistores como mezcladores. Un ejemplo es el transistor MPS6547.

Los dispositivos diseñados para esta clase de servicio se caracterizan por su baja figura de ruido, su alto rango dinámico y su excelente ganancia de conversión. Por lo tanto, pueden trabajar con bajos niveles de señal.

En la figura 341 se muestra un ejemplo de mezclador con transistor utilizado en algunos receptores sencillos de AM.

## Mezclador a transistor con inyección por emisor

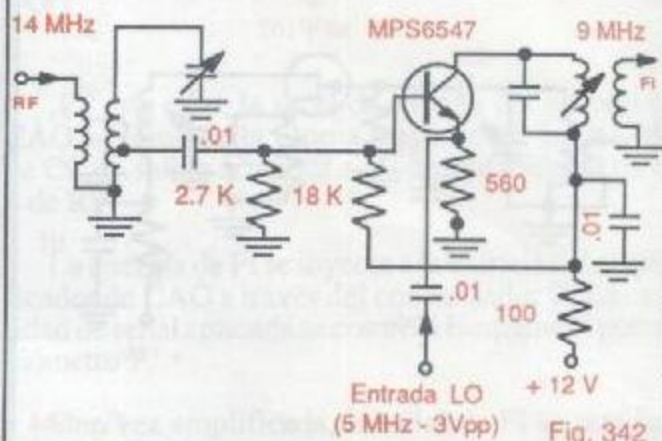


Fig. 342

Esta técnica requiere niveles ligeramente más altos de voltaje por parte del oscilador local, pero garantiza un mejor aislamiento con respecto a la entrada de RF.

En la figura 343 se muestra un ejemplo de mezclador simplemente balanceado con transistores. La señal del oscilador local se inyecta a la base. R1 se utiliza para efectos de balance.

## Mezclador a transistor con inyección por base

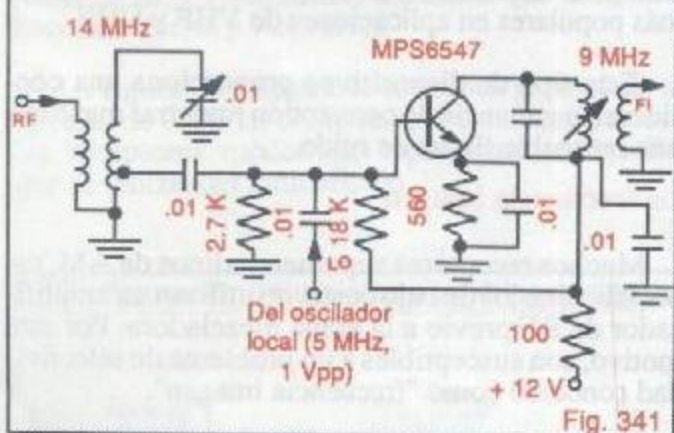


Fig. 341

Para frecuencias por debajo de 7 MHz, este tipo de circuitos no requiere, generalmente, de amplificadores de RF previos. La señal del oscilador local se inyecta en la base.

La mayor limitación del circuito anterior es la falta de aislamiento efectivo entre la señal de entrada y la del oscilador local. El circuito de la figura 342 supera esta dificultad inyectando la señal del oscilador local al emisor.

## Mezclador a transistor simplemente balanceado

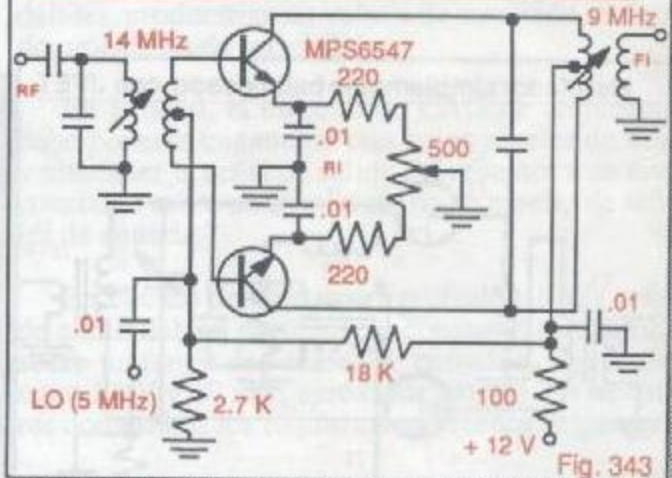


Fig. 343

## Mezcladores con FET

Los mezcladores con FET se caracterizan por proporcionar un mejor rango dinámico que los mezcladores con diodos o con transistores.

En la figura 344 se muestra un ejemplo de mezclador simplemente terminado con FET.

Las señales de entrada y del oscilador local se aplican a la compuerta. El circuito se caracteriza por



### Mezclador simplemente terminado con JFET

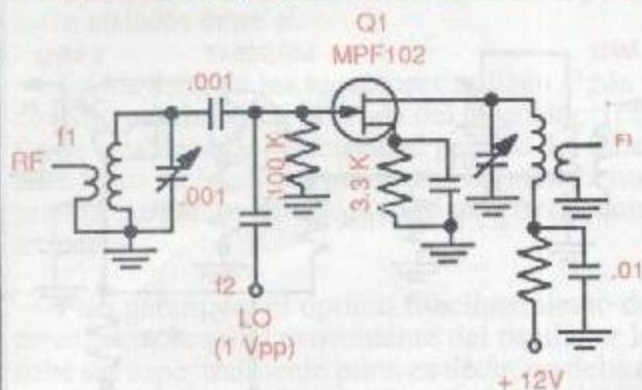


Fig. 344

su excelente ancho de banda. Su mayor desventaja es el aislamiento pobre entre la entrada de RF, la entrada del oscilador local y la salida de FI.

Para proveer un buen funcionamiento de este tipo de mezcladores, el voltaje de inyección del oscilador local debe ser del orden de 1Vpp. La ganancia de conversión (relación entre las señales de FI y de RF) es del orden de 10 dB.

En la figura 345 se muestra un ejemplo de mezclador simplemente balanceado con JFET.

### Mezclador simplemente balanceado con JFET

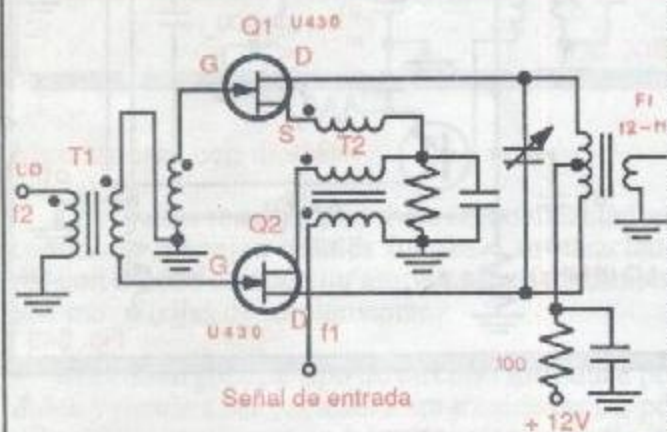


Fig. 345

El transformador de acoplamiento T1 suministra la señal del oscilador local a las compuertas (G) de Q1 y Q2.

La señal de entrada se inyecta a los surtidores de Q1 y Q2 a través del transformador T2. La salida de FI se obtiene de un circuito sintonizado.

En la figura 346 se muestra un ejemplo de mezclador con MOSFET de doble compuerta.

### Mezclador con MOSFET de doble compuerta

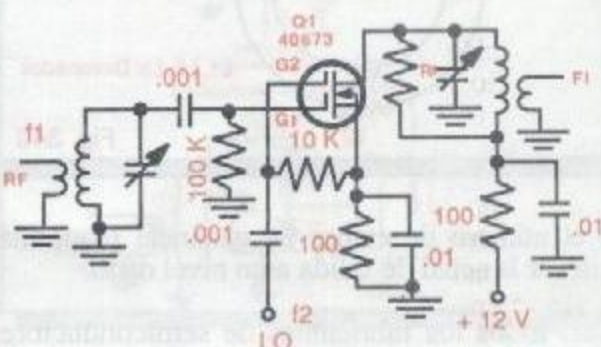


Fig. 346

La señal de entrada se aplica a la compuerta G1 y la del oscilador local a la compuerta G2. Esto garantiza un excelente aislamiento entre ambas señales.

La resistencia R1 se utiliza para disminuir la impedancia de carga y minimizar el efecto de las capacitancias internas del dispositivo. En los demás aspectos, el circuito es similar al de la figura 344.

Los transistores MOSFET de doble compuerta son probablemente los dispositivos mezcladores más populares en aplicaciones de VHF y UHF.

Este tipo de dispositivos proporciona una considerable ganancia de conversión mientras mantiene una razonable figura de ruido.

### La frecuencia imagen

Muchos receptores superheterodinos de AM, especialmente los de bajo costo, no utilizan un amplificador de RF previo a la etapa mezcladora. Por este motivo, son susceptibles a un problema de selectividad conocido como "frecuencia imagen".

La frecuencia imagen consiste en la presencia, a la salida del mezclador, de dos señales simultáneas, provenientes de dos emisoras diferentes: la que se desea sintonizar y su imagen. Esta última tiene una frecuencia de portadora que está 455 KHz por encima de la frecuencia del oscilador local. Por ejemplo, si se sintoniza una estación de 700 KHz, su imagen estará localizada en 1610 KHz.

El problema de la frecuencia imagen se evita utilizando un amplificador de RF de banda estrecha o un circuito de sintonía muy selectivo.



# Control Automático de Ganancia (CAG)

## Generalidades

La regulación automática de la ganancia de un receptor de radio, en relación con la intensidad de señal recibida, es un requisito básico de diseño del mismo.

En otras palabras, el volumen de las emisoras en el parlante debe ser el mismo, independientemente de la intensidad de la señal con que cada emisora llega a la antena.

Esta función la realiza en el receptor un circuito especializado, llamado control automático de ganancia (CAG) o control automático de volumen (CAV).

El CAG mantiene constante el nivel de la señal de salida de audio del receptor, sin importar la intensidad de señal captada a la entrada.

El circuito de CAG utiliza el nivel de CC desarrollado por la señal de salida para variar la polarización de las etapas de RF y de FI.

Este voltaje es proporcional a la amplitud promedio de la señal.

En consecuencia, la ganancia de los amplificadores de RF y FI se reduce a medida que la señal se hace más fuerte y viceversa.

La figura 347 ilustra el concepto general de un circuito de CAG tal como se aplica en la mayoría de los receptores modernos, especialmente aquellos que se utilizan en radioafición.

En este caso, la señal de entrada del circuito de CAG se toma de la última etapa de FI. La tensión de CC de salida se aplica a los amplificadores de FI o de RF.

La energía de FI se inyecta a la entrada del amplificador de CAG a través del condensador C. La cantidad de señal aplicada se controla mediante el potenciómetro P.

Una vez amplificada, la señal de FI se rectifica mediante D1 y se convierte en un voltaje de CC. Este voltaje amplifica y se aplica al primer amplificador de FI y, en algunos casos, al amplificador de RF.

El circuito RC formado por R1 y C1 provee una función conocida como *retardo del CAG*. La función de este circuito de retardo es hacer que el CAG empiece a actuar únicamente después de que la señal de entrada alcanza un cierto nivel.

Las señales por debajo de este nivel recibirán plena amplificación y las que estén por encima quedarán sujetas a la acción del CAG. De no ser así, todas las señales de entrada, incluyendo las más débiles, producirían un voltaje de corrección, causando problemas de sensibilidad.

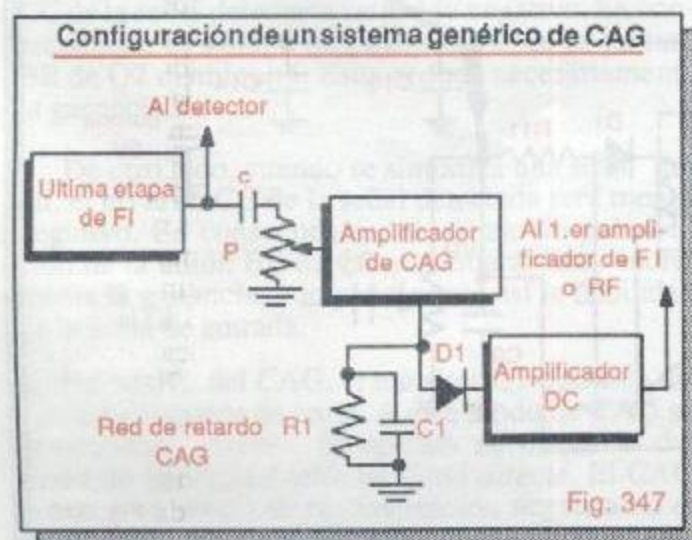
En general, el circuito de CAG de un receptor debe poderse enganchar con bajos niveles de señal y mantener la señal de salida del receptor a un nivel constante sobre un amplio rango de niveles de señales de entrada.

En el caso de receptores profesionales la salida de audio deberá permanecer constante en amplitud sobre un rango de señales de entrada comprendido entre 1  $\mu$ V y 10 mV, aproximadamente. En receptores domésticos los requisitos son menos exigentes.

## El circuito de CAG del radio AM CEKIT

El propósito del control automático de ganancia (CAG) es mantener relativamente constante el nivel de señal de audio aplicado por el detector a la entrada del amplificador de audio, sin importar la intensidad de la señal de RF sintonizada en la etapa de RF.

La intensidad de la señal de RF captada en el circuito de antena varía con la potencia de la emisora, con su distancia del punto de recepción y con diversos factores atmosféricos y de propagación.





El CAG favorece la amplificación de las señales débiles y atenúa las fuertes. De este modo, todas se reproducen con la misma intensidad en el parlante.

Sin el CAG sería imposible una buena recepción porque la señal sintonizada no tendría siempre la misma fuerza (estaría subiendo y bajando de volumen). Todas estas variaciones son muy bien compensadas por el circuito de CAG.

La función de CAG en el radio AM CEKIT la provee la resistencia R10, la cual conecta la salida del detector con la entrada del primer amplificador de FI, tal como se muestra en la figura 348.

El CAG utiliza el nivel de CC desarrollado por la señal filtrada de FI a la salida del detector para controlar el nivel de polarización del transistor Q2.

Esta tensión se denomina *voltaje de CAG* y puede medirse fácilmente conectando un voltímetro de CC en bornes del condensador C9, como se muestra en la misma figura 348 anterior.

El voltaje de CAG es proporcional a la amplitud de la señal.

Por lo tanto, la ganancia del primer amplificador de FI se reduce a medida que la intensidad de la señal se hace más grande y viceversa.

En la figura 349 se comparan dos señales moduladas de RF de diferente intensidad y su efecto en diferentes partes del circuito.

Como puede verse, la señal filtrada presente en el ánodo del detector tiene un cierto nivel de CC.

Entre más fuerte sea la señal, más negativo es este voltaje.

El voltaje de polarización de la base del primer amplificador de FI (Q2) lo controla el divisor de tensión formado por R6 y R10.

La resistencia R11 y el condensador C9 del circuito de salida del detector forman un filtro que

### Circuito de control automático de ganancia

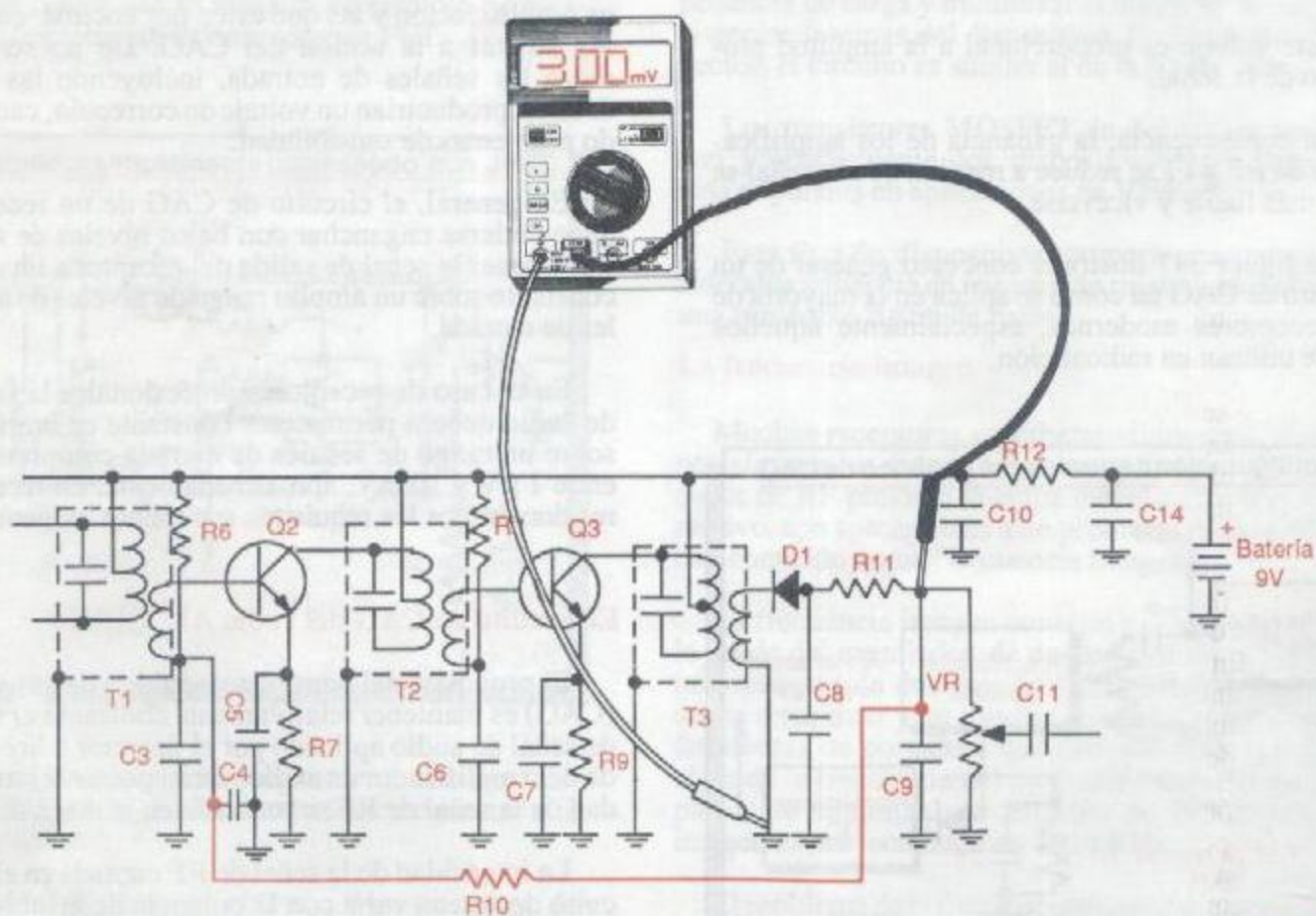


Fig. 348



## Acción del control automático de ganancia

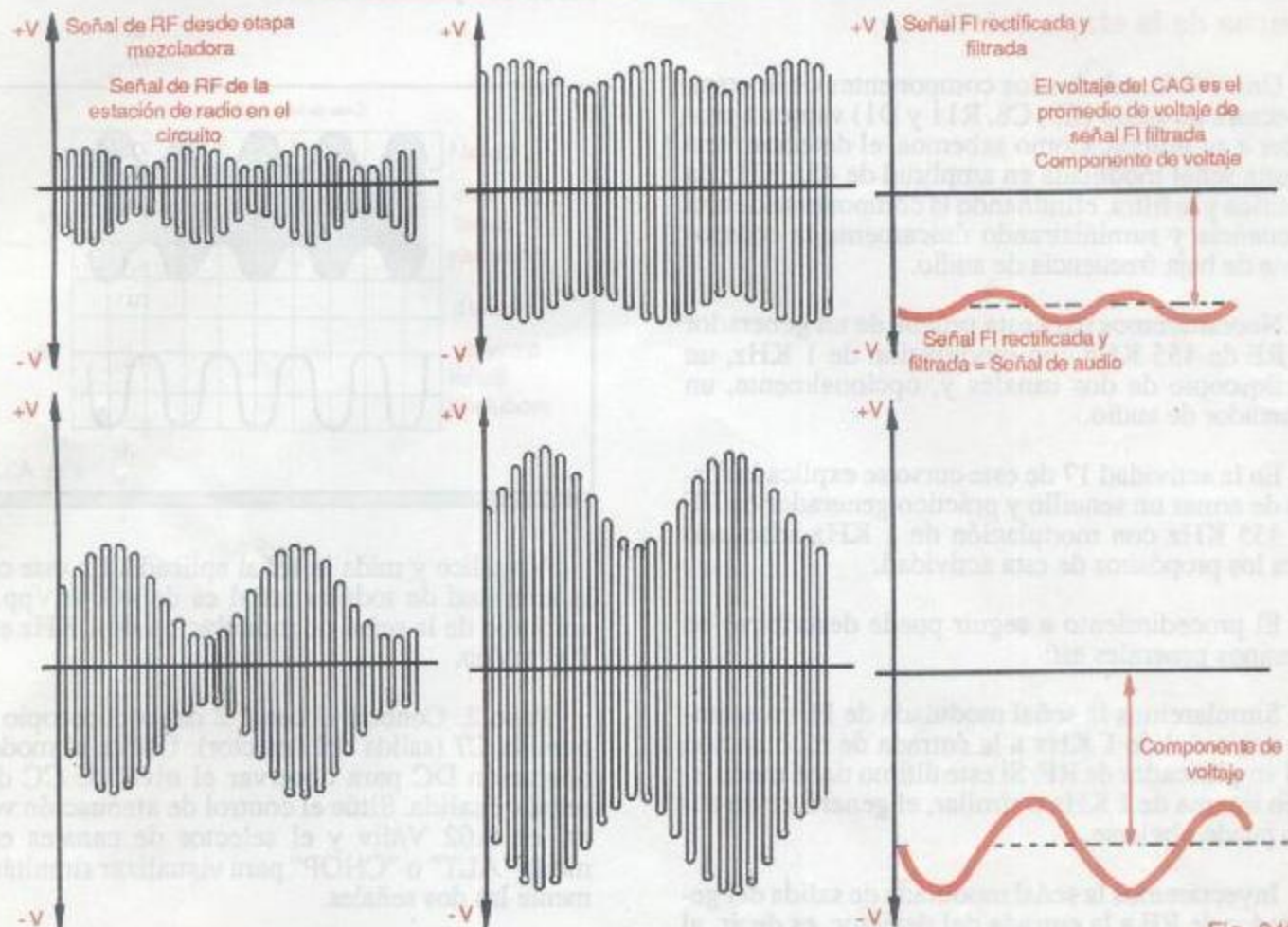


Fig. 349

transfiere únicamente la componente de CC de la señal de salida. Este filtro contribuye también a la acción de retardo del CAG explicada al comienzo de esta lección.

Cuando se sintoniza una señal fuerte, el nivel de CC de la señal detectada será muy negativo. En consecuencia, el voltaje de polarización de la juntura BE de Q2 disminuirá. Esto reduce necesariamente la ganancia.

De otro lado, cuando se sintoniza una señal débil, el nivel de CC de la señal detectada será menos negativo. En consecuencia, el voltaje de polarización de la unión BE de Q2 aumentará. Esto incrementa la ganancia, compensándose así la debilidad de la señal de entrada.

Por acción del CAG, el transistor Q1 opera en dirección del punto de corte. A este modo de CAG se le denomina *inverso*. Si operara en dirección del punto de saturación sería un CAG *directo*. El CAG provoca un efecto de realimentación negativa en el primer amplificador de FI.

## Importancia del filtrado de la tensión de CAG

Son varias las razones por las cuales se requiere de una acción de filtrado o retardo de la tensión de CAG. La más importante es impedir que las variaciones instantáneas de la señal de audio se manifiesten a la entrada de los circuitos sometidos a la acción del CAG y provoquen la inestabilidad del punto de trabajo y otras perturbaciones.

En el sistema de la figura 347, el filtro de CAG está representado por R1 y C1. La principal función de este filtro es permitir que únicamente la componente de CC de la señal de salida del amplificador de CAG se transmita como tensión de polarización a la entrada de la primera etapa de FI.

El condensador C1, en particular, ofrece un camino fácil a tierra de las variaciones de alta y baja frecuencia de la señal de CAG. La constante de tiempo del filtro ( $R1 \times C1$ ) se elige de modo que permita enmascarar los efectos del "fading" o desvanecimiento de la señal de entrada, sin ignorar la más baja de las frecuencias a reproducir.



### Prueba de la etapa detectora

Una vez instalados los componentes de la etapa detectora de audio (C9, C8, R11 y D1) vamos a proceder a su prueba. Como sabemos, el detector recibe una señal modulada en amplitud de 455 KHz, la rectifica y la filtra, eliminando la componente de alta frecuencia y suministrando únicamente la componente de baja frecuencia de audio.

Necesitaremos para esta prueba de un generador de RF de 455 KHz con modulación de 1 KHz, un osciloscopio de dos canales y, opcionalmente, un generador de audio.

En la actividad 17 de este curso se explica la forma de armar un sencillo y práctico generador de RF de 455 KHz con modulación de 1 KHz adecuado para los propósitos de esta actividad.

El procedimiento a seguir puede describirse en términos generales así:

Simularemos la señal modulada de FI inyectando una señal de 1 KHz a la entrada de modulación del amplificador de RF. Si este último tiene modulación interna de 1 KHz o similar, el generador de audio puede obviarse.

Inyectaremos la señal modulada de salida del generador de RF a la entrada del detector, es decir, al cátodo de D1. Obtendremos la señal de salida en el punto común de unión de R11, C8 y C9.

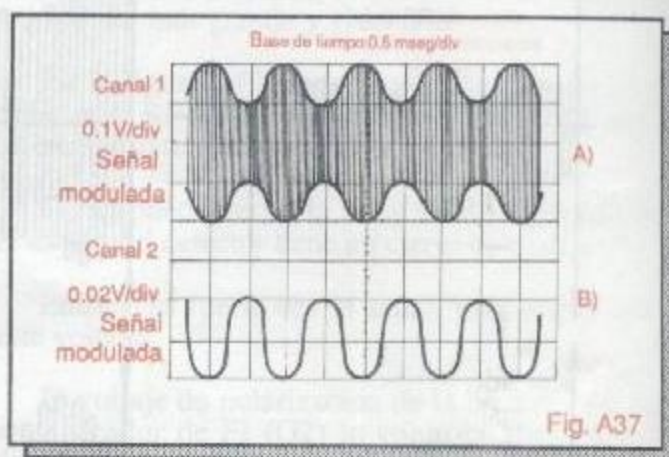
Compararemos las dos señales y verificaremos que la forma de onda de la señal de audio observada en el canal 2 corresponde exactamente a la envolvente de la señal de RF observada en el canal 1.

Si esto es así, el detector de audio está operando correctamente. Variando la amplitud de la señal de RF podemos observar su efecto en el voltaje de CAG. Este voltaje es igual al nivel de CC de la señal de salida del detector.

Por cuestiones didácticas, las pruebas anteriores conviene realizarlas sin batería de alimentación. Si usted desea escuchar en el audífono la reproducción del tono de modulación de 1 KHz tendrá que conectar la batería. Notará que con la batería conectada la amplitud de la señal de audio a la salida del detector disminuye.

**Paso 1.** Obtenga con el generador de RF una señal modulada de 455 similar a la mostrada en la figura A37. Inyecte esta señal a la puntilla C1 (entrada del detector). Conecte a ese mismo punto el canal 1 del

osciloscopio. Sitúe la base de tiempo en 0.5  $\mu$ s/div, la atenuación vertical en 0.1 V/div y el selector de modo de operación en AC.



Visualice y mida la señal aplicada. En este caso, la amplitud de toda la señal es de 400 mVpp. La amplitud de la señal de modulación de 1 KHz es de 100 mVpp.

**Paso 2.** Conecte el canal 2 del osciloscopio a la puntilla C7 (salida del detector). Utilice el modo de operación DC para observar el nivel de CC de la señal de salida. Sitúe el control de atenuación vertical en 0.02 V/div y el selector de canales en el modo "ALT" o "CHOP" para visualizar simultáneamente las dos señales.

Observe la señal de salida y compárela con la de entrada. En la figura A37 se muestran las formas de onda de las dos señales.

Notará que la señal de salida (canal 2) tiene una cierta amplitud, digamos 40 mVpp, y un cierto nivel negativo de CC, digamos 40 mV. Con respecto a la señal de entrada (canal 1), la forma de onda de la señal de salida es prácticamente igual a la forma de onda de la envolvente de la señal de entrada y no contiene ningún rastro de RF.

La envolvente corresponde a la información de audio transportada por la portadora de 455 KHz. En consecuencia, el detector ha extraído la señal de audio y eliminado la componente de RF. Así, hemos comprobado el proceso de detección AM.

### Instalación del condensador filtro C10

Para terminar esta actividad, instale el condensador C10 de 47  $\mu$ F entre las puntillas 39 (terminal positivo) y 30 (terminal negativo). La función de C10 es servir como filtro de radiofrecuencia de la fuente de alimentación. Después de soldado, corte el alambre restante.



## Descripción general del receptor

### Introducción

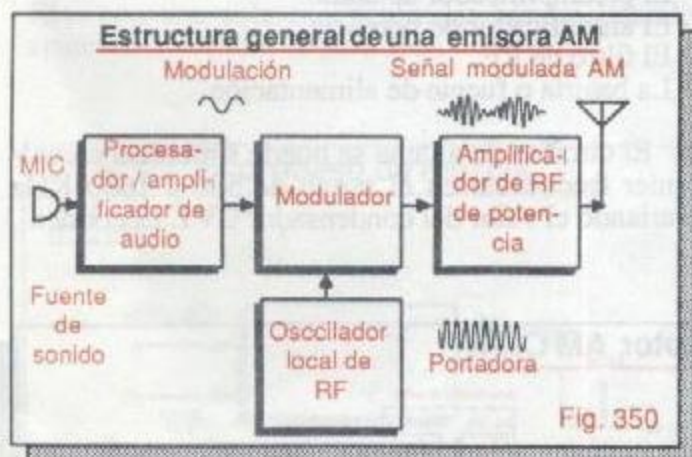
Hemos analizado hasta ahora todas las etapas de un radio AM típico, de derecha a izquierda, desde el parlante hasta la antena, empezando por el amplificador de audio y terminando en el circuito de sintonía. También se ha estudiado una gran cantidad de temas teóricos relacionados con cada etapa y con el campo de las comunicaciones en general.

Con el fin de aclarar las ideas principales, vamos a realizar a continuación un resumen en el sentido propio del flujo de las diferentes señales involucradas, de izquierda a derecha, es decir, desde la antena, donde llegan las señales de todas las emisoras, hasta el parlante, donde escuchamos la información de voz y sonido transmitida.

Con este resumen pretendemos que el lector o estudiante pueda visualizar, en una sola lección, cómo está estructurado un sistema de comunicaciones por radio desde el transmisor hasta el receptor y los circuitos especializados que realizan cada una de las funciones necesarias para el proceso.

### Cómo se produce la señal AM. El transmisor

En la figura 350 se muestra la estructura simplificada de una emisora de AM.



En la emisora se origina la información de voz y sonido que se desea enviar al receptor. Esta información puede provenir de uno o más micrófonos o estar grabada en discos, cintas magnéticas u otros medios. Independientemente de su origen, debe convertirse en una representación eléctrica equivalente para ser procesada.

La conversión a señales eléctricas la realizan procesadores de sonido como tocadiscos, grabadoras de cassettes, reproductores de discos compactos, etc., asociados a amplificadores de audio. La señal eléctrica de salida del procesador de audio se aplica a un *modulador*.

El modulador combina la señal de baja frecuencia suministrada por el procesador de audio con una señal de alta frecuencia proveniente de un oscilador local y produce a su salida una señal de amplitud modulada (AM).

La señal de AM se inyecta a un amplificador de RF de potencia y se suministra amplificada a una antena, la cual la irradia al espacio. El enlace entre el amplificador de potencia de RF y la antena se establece a través de un cable llamado *línea de transmisión*.

Las emisoras de AM transmiten con frecuencias de portadora entre 530 y 1600 KHz. A cada estación se le asigna una frecuencia específica dentro de esta banda. La información de audio o *banda base* enviada contiene frecuencias entre 0 y 5 KHz. La banda base determina dos bandas laterales alrededor de la portadora (figura 351).



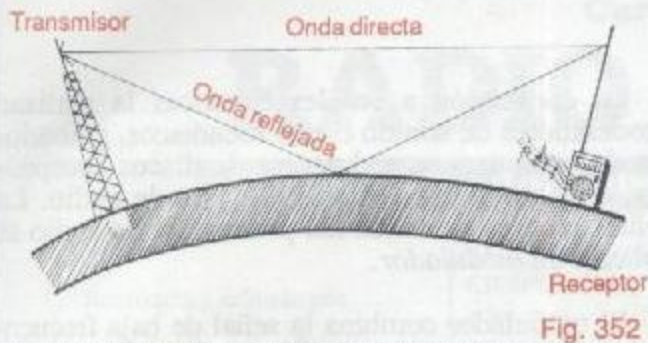
La antena irradia la señal de AM en forma de una onda electromagnética. Esta onda se propaga en todas las direcciones y se dirige a la antena receptora siguiendo la curvatura de la tierra o reflejándose de ella (figura 352). Por esta razón, se dice que es una *onda de superficie* o terrestre.

### Cómo se reproduce la señal AM. Recepción

En la figura 353 se muestra el diagrama de bloques simplificado de un receptor superheterodino



## Propagación de la señal AM



de AM. El receptor es el punto de llegada de la información originada en la emisora.

## Estructura general de un receptor AM



A la antena llegan señales provenientes de un gran número de estaciones. El sintonizador selecciona una en particular, la amplifica y la suministra a un mezclador o convertor de frecuencia. En el mezclador, la señal modulada de RF se combina o *heterodina* con una señal de alta frecuencia proveniente de un oscilador local.

Como consecuencia del proceso de mezcla, la modulación original de la portadora se traslada a una portadora fija de 455 KHz llamada FI o *frecuencia intermedia*. La señal de FI conserva la misma modulación de la portadora de RF.

La señal de FI se amplifica y se inyecta al detector o demodulador. El detector separa la señal de modulación (audio) de la portadora de 455 KHz y la suministra al amplificador de audio.

Este amplificador eleva el nivel de la señal de audio y le suministra la suficiente potencia como para impulsar el parlante. En el parlante, la señal de audio se reproduce en forma de voces y sonidos que son réplicas fieles de la información audible enviada por la emisora sintonizada.

## Los circuitos del receptor AM CEKIT

En la figura 354 se muestra el diagrama completo de bloques del receptor superheterodino AM CEKIT.

El sistema consta básicamente de las siguientes etapas:

- El circuito de sintonía.
- El amplificador/convertor de RF, constituido por el amplificador de RF, el oscilador local (LO) y el convertor o mezclador propiamente dicho.
- El primer amplificador de FI.
- El segundo amplificador de FI.
- El detector o demodulador de AM.
- El circuito de CAG.
- El preamplificador de audio.
- El amplificador de potencia.
- El filtro de RF.
- La batería o fuente de alimentación.

El circuito de antena se puede sintonizar a cualquier frecuencia en el rango de 530 a 1600 KHz variando el valor del condensador CV1. El conden-

## Diagrama de bloques del receptor AM CEKIT

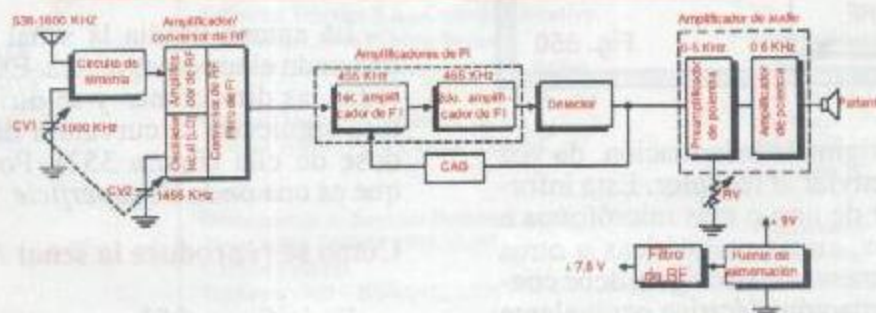


Fig. 354



sador CV2 permite variar la frecuencia del oscilador local en el rango de 985 a 2055 KHz. Los dos condensadores están acoplados mecánicamente sobre el mismo eje.

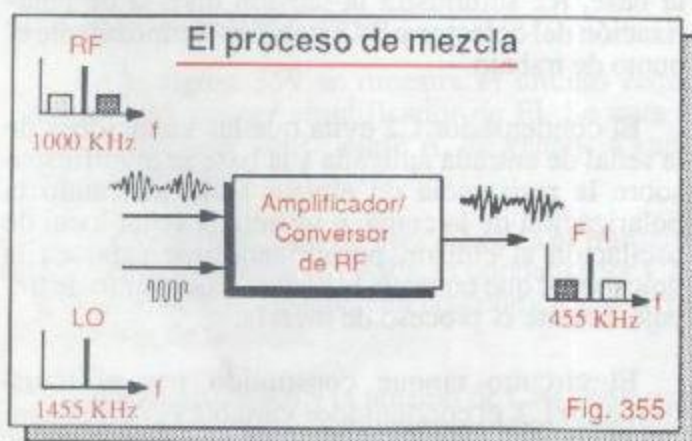
Para simplificar, supongamos que el circuito de antena se sintoniza a 1000 KHz mediante CV1. El oscilador local operará entonces, automáticamente, a 1455 KHz, es decir, 455 KHz por arriba de la frecuencia de resonancia del circuito de sintonía.

A la antena convergen señales provenientes de un gran número de estaciones. El circuito de sintonía selecciona únicamente la correspondiente a una portadora de 1000 KHz, incluyendo sus bandas laterales. Las demás son ignoradas.

La señal de 1000 KHz captada ingresa entonces al amplificador/conversor de RF, donde se amplifica y se mezcla con la señal de 1455 KHz del oscilador local. A la salida de este circuito obtenemos 4 frecuencias diferentes de mezcla: 1000 KHz, 1455 KHz, 2455 KHz y 455 KHz.

Las dos primeras, 1000 KHz y 1455 KHz, corresponden, respectivamente, a las frecuencias originales de las señales de RF y del oscilador local. La señal de 2455 KHz resulta de la suma de ambas frecuencias ( $2455=1000+1455$ ) y la de 455 KHz de su diferencia ( $455=1455-1000$ ).

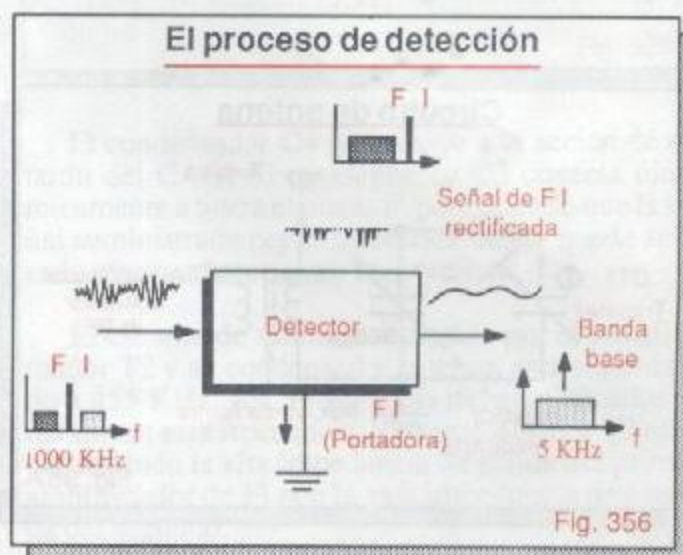
La salida del conversor de RF está sintonizada a 455 KHz, la frecuencia intermedia (FI) del proceso. En consecuencia, sólo esta señal pasa a la etapa siguiente. Los demás productos de la mezcla son ignorados. La señal de 455 KHz contiene exactamente la misma modulación de la portadora de 1000 KHz con una sola excepción: las bandas laterales aparecen invertidas (figura 355).



La señal de salida del conversor se aplica al primer amplificador de FI. Este circuito está sintonizado también a 455 KHz y tiene un ancho de banda suficiente para dejar pasar las bandas laterales.

La señal proveniente del primer amplificador de FI se aplica a un segundo amplificador, también sintonizado a 455 KHz. Este la entrega al detector o demodulador de AM.

El detector rectifica la señal modulada de FI, separa la señal de modulación de la portadora de 455 KHz y la suministra al preamplificador de audio. Al desaparecer la portadora de FI, la señal de salida del detector es la banda base original (figura 356).



La señal de salida del detector se aplica también al circuito de control automático de ganancia. El CAG regula la ganancia del primer amplificador de FI en función de la intensidad de la señal de entrada. Las señales fuertes reciben menos amplificación que las débiles. El resultado es un nivel aproximadamente constante de señal de audio a la entrada del preamplificador.

El preamplificador y el amplificador de potencia configuran el amplificador de audio.

El preamplificador aumenta el nivel de voltaje de la señal de audio y el amplificador de potencia le suministra la corriente necesaria para impulsar el parlante. Asociado al preamplificador está el control de volumen (RV).

El receptor obtiene la alimentación de CC necesaria para polarizar adecuadamente todos sus circuitos de una batería o fuente de poder de 9V. La alimentación del amplificador de audio se obtiene directamente de la batería y la de los circuitos de alta frecuencia a través de un filtro de RF.

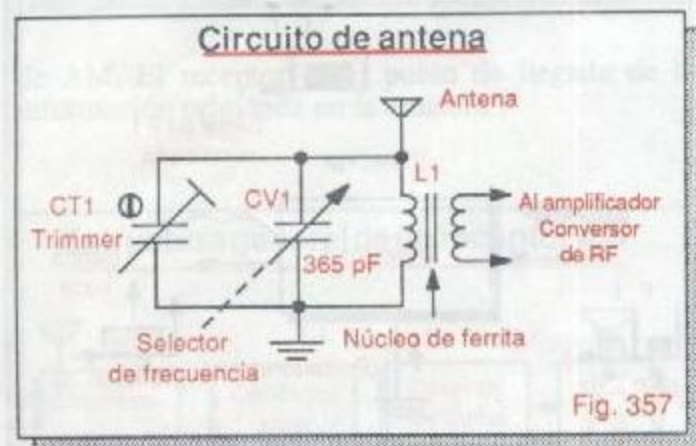
El filtro de RF evita que las señales de alta frecuencia presentes en las líneas de alimentación interfieran con la operación del amplificador de audio e introduzcan ruido.



## El circuito de antena

El circuito de antena capta las señales de radio emitidas por las diferentes estaciones, selecciona una en particular y la suministra al amplificador conversor de RF. La emisora deseada se elige mediante un condensador variable (CV1).

El circuito consiste básicamente de una antena colectora de ondas y un circuito resonante paralelo o tanque. En la figura 357 se muestra su diagrama esquemático.



El circuito tanque lo integran un transformador de núcleo de ferrita (L1), un condensador variable (CV1) y un condensador trimmer o de compensación (CT1). El núcleo de ferrita actúa como antena propiamente dicha.

El condensador CV1 permite variar la frecuencia de resonancia del circuito dentro del rango de 530 a 1600 KHz. El trimmer CT1 permite realizar ajustes finos de frecuencia.

Además de contribuir a la determinación de la frecuencia de resonancia, L1 acopla la alta impedancia del tanque resonante con la baja impedancia de entrada del amplificador/conversor de RF.

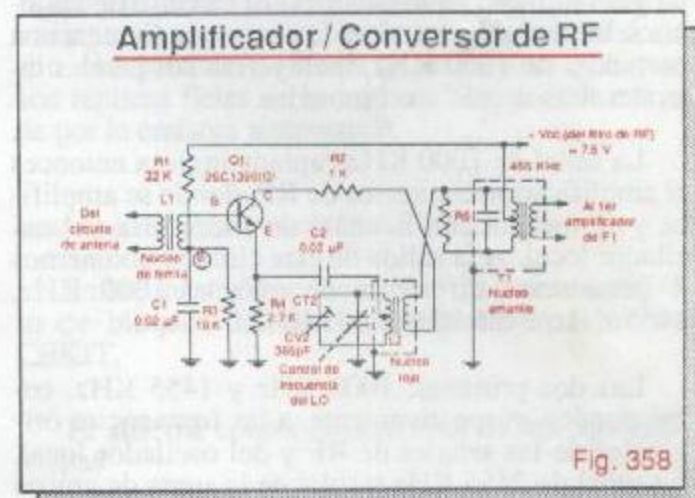
El circuito tanque establece la *selectividad de entrada* del receptor, es decir, su habilidad para dejar pasar únicamente la portadora y sus bandas laterales y rechazar las demás señales. A la frecuencia de resonancia, el circuito tanque presenta su máxima respuesta de señal.

## El amplificador / conversor de RF

El amplificador/conversor de RF recibe la señal modulada de RF captada en el circuito de antena, la amplifica, la mezcla con la señal del oscilador local y traslada la modulación original de la portadora de RF a una portadora fija de 455 KHz o FI.

La señal de salida se aplica a los amplificadores de FI. La frecuencia del oscilador local se controla mediante un condensador variable (CV2) y es siempre 455 KHz más alta que la frecuencia de resonancia del circuito de antena.

El circuito consiste básicamente de un amplificador sintonizado de RF, un oscilador local y un mezclador de frecuencias. En la figura 358 se muestra el diagrama correspondiente.



El elemento activo de la etapa es el transistor NPN Q1. Este dispositivo, en asociación con los demás componentes pasivos de la etapa (resistencias, condensadores y bobinas) amplifica la señal de RF suministrada por el circuito de antena, genera la señal local de oscilación y la mezcla con la de RF para producir la señal de FI.

Las resistencias R1, R2, R3 y R4 cumplen la función de polarizar adecuadamente el transistor Q1. En particular, R1 y R3 polarizan directamente la base, R2 suministra la tensión inversa de polarización del colector y R4 estabiliza térmicamente el punto de trabajo.

El condensador C2 evita que las variaciones de la señal de entrada aplicada a la base se manifiesten sobre la resistencia de emisor (R4), alterando la polarización de la etapa, e inyecta la señal local de oscilación al emisor, permitiendo que ésta sea la única señal que controla la posición del punto de trabajo durante el proceso de mezcla.

El circuito tanque constituido por el transformador L2, el condensador variable CV2 y el condensador de compensación o trimmer CT2 determinan la frecuencia local de oscilación.

En particular, CV2 proporciona una variación continua de frecuencia entre 985 KHz y 2055 KHz y CT2 permite realizar ajustes finos de frecuencia.



El transformador o bobina osciladora L2 suministra la señal de realimentación positiva necesaria para mantener las oscilaciones.

El condensador C1 conecta a tierra el punto B desde el punto de vista dinámico, es decir, en presencia de señal. De este modo, la señal de RF queda efectivamente aplicada entre base y tierra y la de oscilación local (L.O) entre emisor y tierra.

El circuito tanque constituido por el transformador T1, su condensador interno y la resistencia R5 está sintonizado a 455 KHz. Su propósito es seleccionar la señal modulada de FI y transferirla a la etapa siguiente.

El transformador T1 acopla también la alta impedancia de salida del conversor con la baja impedancia de entrada del primer amplificador de FI. La resistencia R5 se utiliza para aumentar el ancho de banda del circuito tanque de salida.

El amplificador/conversor de RF determina la figura de ruido, la sensibilidad y el rango dinámico del receptor. Para que su operación sea eficiente, debe poder manejar señales de entrada fuertes y débiles con la misma facilidad y amplificarlas con el mínimo de ruido posible.

El circuito debe también producir una señal de oscilación local fuerte, espectralmente pura (sin distorsión) y aislarla del circuito de antena para que no se irradie al exterior.

### El primer amplificador de FI

Los dos amplificadores de FI reciben la señal modulada de 455 KHz procedente del amplificador conversor de RF, la amplifican a un nivel conveniente y la entregan al detector o demodulador de audio. La ganancia del primer amplificador de FI la regula el circuito de CAG.

En la figura 359 se muestra el circuito esquemático del primer amplificador de FI. Se trata de un amplificador de RF clase A, de ganancia variable, sintonizado a 455 KHz.

El elemento activo de esta etapa es el transistor Q2. Las resistencias R6 y R7, el condensador C5 y la tensión de CAG establecen las condiciones de polarización de la etapa.

En particular, R6 y la tensión de CAG polarizan directamente la base, R7 estabiliza térmicamente el punto de trabajo y C5 impide que las variaciones de la señal de entrada afecten las condiciones de polarización. La tensión de polarización inversa del colector se obtiene del positivo de la fuente a través del primario de T2.

### Primer amplificador de FI

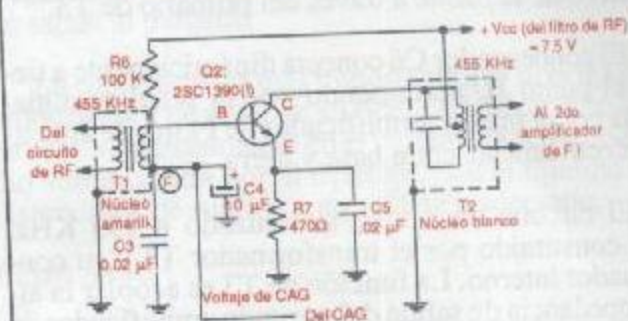


Fig. 359

El condensador C4 contribuye a la acción de retardo del CAG. El condensador C3 conecta dinámicamente a tierra el punto F, permitiendo que la señal suministrada por el conversor de RF quede aplicada efectivamente entre base y tierra.

El circuito de salida, constituido por el transformador T2 y su condensador interno, está sintonizado a 455 KHz. Así, la ganancia del amplificador es máxima a esta frecuencia. El transformador T2 acopla también la alta impedancia de salida del primer amplificador de FI con la baja impedancia de entrada del segundo.

### El segundo amplificador de FI

En la figura 360 se muestra el circuito esquemático del segundo amplificador de FI. Se trata también de un amplificador de RF clase A, de ganancia fija, sintonizado a 455 KHz.



Fig. 360

El elemento activo de esta etapa es el transistor Q3. Las resistencias R8 y R9 y el condensador C7 establecen las condiciones de polarización.

En particular, R8 polariza en directo la base, R9 estabiliza térmicamente el punto de trabajo y C7 impide que las variaciones de la señal de entrada afecten las condiciones de polarización.



ten las condiciones de polarización. La tensión de polarización inversa del colector se obtiene del positivo de la fuente a través del primario de T3.

El condensador C6 conecta dinámicamente a tierra el punto H, permitiendo que la señal suministrada por el primer amplificador de FI quede aplicada efectivamente entre base y tierra.

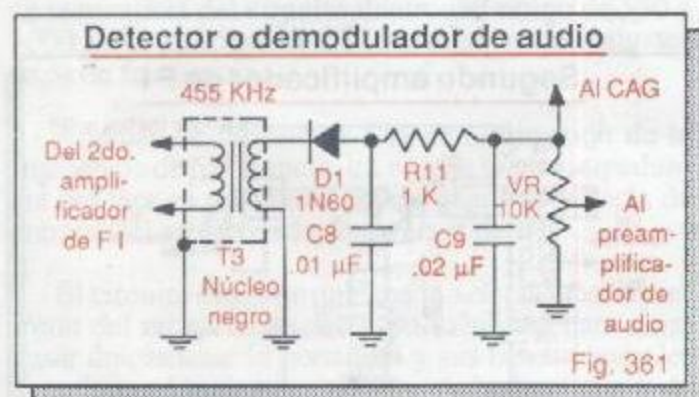
El circuito de salida, sintonizado a 455 KHz, está constituido por el transformador T3 y su condensador interno. La función de T3 es acoplar la alta impedancia de salida del segundo amplificador de FI con la baja impedancia de entrada del detector.

Los amplificadores de FI determinan la selectividad y la sensibilidad finales del receptor. El principal requisito que se les exige es entregar una señal de salida sin distorsión y lo suficientemente fuerte como para ser detectada.

### El detector o demodulador

El detector recibe la señal proveniente del segundo amplificador de FI y la demodula, entregando únicamente la componente de audio y eliminando la portadora interna de 455 KHz. El detector provee también la tensión de CAG.

En la figura 361 se muestra el detector en detalle. La etapa consta básicamente de un rectificador de media onda (D1) y de una red filtradora compuesta por C8, R11 y C9. Este filtro pasabajos sigue las variaciones de baja frecuencia de la señal modulada de FI e ignora la portadora de 455 KHz.



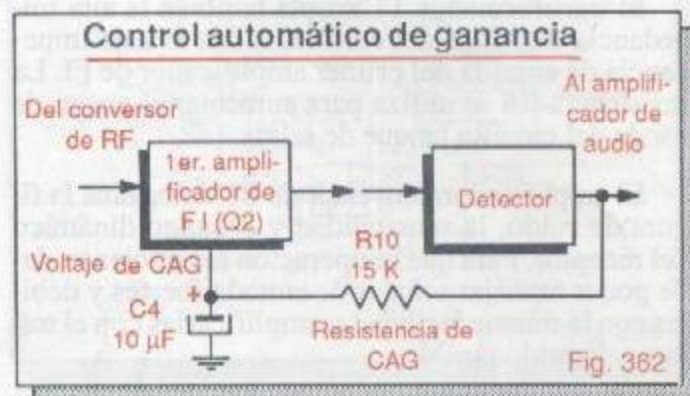
El diodo D1 rectifica la señal de FI, dejando pasar únicamente la porción negativa y eliminando una de las bandas laterales. Los condensadores C8 y C9 envían a tierra la portadora de FI y transfieren únicamente la señal de audio al potenciómetro VR.

La característica más importante que se exige del detector es su linealidad; el circuito debe reproducir fielmente, sin distorsión, la señal de modulación.

### El circuito de CAG

El circuito de CAG utiliza el nivel de CC de la señal de salida del detector para controlar la ganancia del primer amplificador de FI. De este modo garantiza que a la entrada del amplificador de audio se aplique siempre la misma cantidad de señal, sin importar la intensidad de la señal captada.

El circuito de CAG se muestra en la figura 362. El control de la ganancia del primer amplificador de FI se realiza a través de la resistencia R10. Entre más negativo sea el voltaje de CAG, más baja es la ganancia de este amplificador y viceversa.



### El amplificador de audio

El amplificador de audio recibe la señal de salida del detector, la amplifica y la reproduce en el parlante. Consta de dos etapas: un preamplificador y un amplificador de salida o "driver".

El preamplificador es un amplificador de voltaje clase A realimentado negativamente y el driver un amplificador de potencia clase AB en configuración "push-pull" o complementaria. Asociado al preamplificador está el control de volumen. La etapa de salida maneja el parlante.

### El preamplificador de audio

En la figura 363 se muestra el circuito del preamplificador. El elemento activo de esta etapa es el transistor Q4, conectado en la configuración emisor común. La carga es el amplificador de salida.

El potenciómetro RV actúa como control de volumen, regulando el nivel de la señal de audio suministrada por el detector al amplificador. La señal de audio se inyecta a la base mediante C11.

La resistencia R16 proporciona la realimentación negativa necesaria para minimizar la distorsión de cruce típica del esquema de amplificación "push-pull" utilizado en el amplificador de potencia.



### Preamplificador de audio

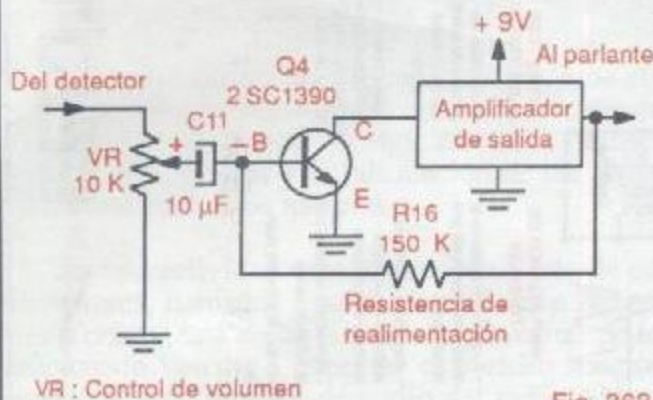


Fig. 363

### El amplificador de potencia

En la figura 364 se muestra el circuito del amplificador de potencia. Los elementos activos de esta etapa son los transistores complementarios Q5 y Q6, conectados en la configuración colector común.

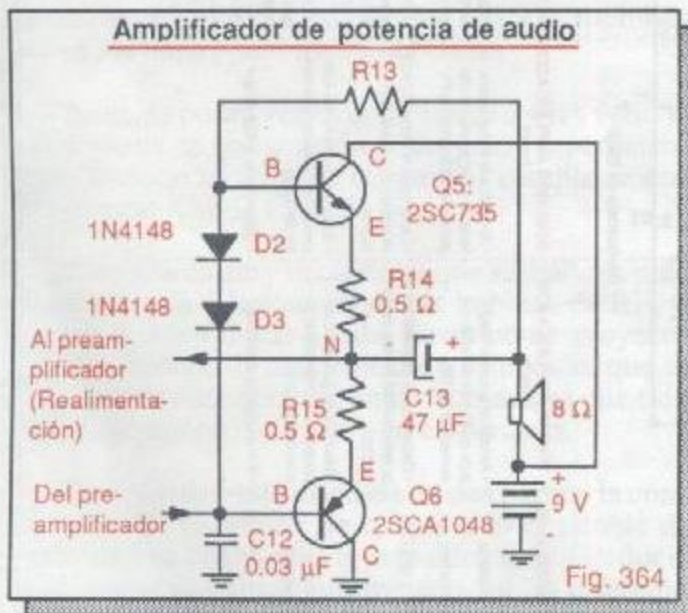


Fig. 364

El transistor Q5 suministra impulsos de corriente al parlante durante los ciclos positivos de la señal de entrada y Q6 durante los negativos. Entre los dos reproducen en su totalidad la señal de entrada. A este proceso se le denomina "push-pull".

La polarización directa de la base del transistor Q5 se obtiene del positivo de la batería a través de R13 y el parlante. El transistor Q6 la obtiene de la base de Q5 a través de los diodos D2 y D3. Las resistencias R14 y R15, situadas en los emisores, estabilizan térmicamente ambos transistores.

El condensador C12 actúa como filtro de altas frecuencias. El condensador C13 transfiere la señal de salida al parlante.

La característica más importante que se exige del amplificador de audio es su fidelidad. El circuito debe reproducir fielmente en el parlante la señal de audio suministrada por el detector, con el mínimo de distorsión y de ruido y a un volumen adecuado.

### Filtro de RF

El filtro de RF lo constituyen los condensadores electrolíticos C10 y C14 y la resistencia R12. Sus funciones se pueden resumir en los siguientes términos:

- Suministrar la tensión de alimentación de las etapas de alta frecuencia (amplificador de RF y amplificadores de FI). Estas etapas se alimentan con un voltaje más bajo ( $\approx 7.5V$ ) que el del amplificador de audio (9V).

- Aislar las líneas de alimentación de las etapas de RF y FI con respecto a las de la etapa amplificadora de audio. Así, los armónicos de alta frecuencia generados por la operación en clase AB de los transistores Q5 y Q6 no interfieren con la operación de las etapas de RF y de FI y las señales de alta frecuencia manejadas en estas etapas no interfieren con la operación del amplificador de audio.

El circuito del filtro de RF utilizado por el radio AM CEKIT se muestra en la figura 365. La forma como están interconectados los 3 componentes (R12, C10 y C14) se denomina "pi" porque recuerda la forma de esta letra griega ( $\Pi$ ).

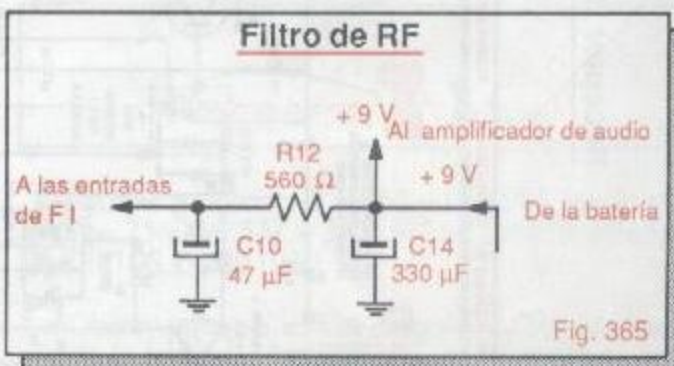


Fig. 365

### Diagrama esquemático general

A manera de resumen de lo explicado en esta lección, en la figura 366 se muestra el diagrama general del radio AM CEKIT. Se han delimitado todas las etapas que lo conforman, sintetizando su función específica e ilustrando pictóricamente el flujo de las diferentes señales involucradas.



[illegible]CIRCUITO DE  
ANTENA

- Selecciona una emisora en particular.
- Determina la selectividad de receptor.
- Rechaza la frecuencia imagen.
- Sintonizable entre 530 y 1600 KHz.
- Amplifica la señal de RF captada.
- Genera señal local de oscilación.
- Mezcla las señales de RF y de LD y produce la señal de FI.
- Invierte las bandas laterales.
- Determina el rango dinámico, la sensibilidad y la figura de ruido de entrada del receptor.
- Aísla la señal del oscilador del circuito de antena.

AMPLIFICADOR / CONVERSOR DE  
RF

- Amplifica la señal de RF captada.
- Genera señal local de oscilación.
- Mezcla las señales de RF y de LO y produce la señal de FI.
- Invierte las bandas laterales.
- Determina el rango dinámico, la sensibilidad y la figura de ruido de entrada del receptor.
- Aísla la señal del oscilador del circuito de antena.

### PRIMER AMPLIFICADOR DE FI.

- Amplifica la señal modulada de FI proveniente del convertidor de RF.
- Determina la sensibilidad y la selectividad finales del receptor.
- Modifica su ganancia de acuerdo a la intensidad de la señal captada.
- Sintonizado a 455 KHz.

## SEGUNDO AMPLIFICADOR DE FI

- Amplifica la señal modulada de FI proveniente del primer amplificador de FI.
- Determina la sensibilidad y selectividad finales del receptor.
- Suministra una señal suficientemente fuerte al detector de audio.
- Sintonizado a 455 KHz.

DETECTOR DE  
AUDIO

- Separa la señal de audio de la FI.
- Envía a tierra la portadora interna de 455 KHz.
- Entrega la señal de audio al preamplificador.
- Suministra el voltaje de CAG del primer amplificador de FI.

### PREAMPLIFICADOR DE AUDIO

- Amplifica en voltaje la señal de audio proveniente del detector.
- Regula la cantidad de señal de audio aplicada al amplificador de potencia.
- Determina la fidelidad del sonido reproducido en el parlante.

### AMPLIFICADOR DE POTENCIA

- Amplifica en corriente la señal proveniente del preamplificador.
- Reproduce la señal de audio en el parlante en forma de ondas sonoras.
- Minimiza la distorsión de la señal de salida.
- Utiliza el principio push-pull.

FUENTE DE ALIMENTACION

- Suministra los voltajes de polarización de todas las etapas.
- Determina la máxima potencia de salida del amplificador de audio.



## Actividad práctica Nº 15

### Armando un radio de galena

En la lección 20 de este curso estudiamos el tema de los receptores de radio en su aspecto general. Además se mostraron algunos circuitos de receptores muy sencillos y la fabricación de las bobinas de antena para estos receptores.

En esta actividad vamos a construir uno de estos receptores, llamados *Radios de Galena o Receptores a cristal*, una de las actividades favoritas de todo aficionado. Vamos a conectar este radio temporalmente al amplificador de audio del radio AM para reforzar su señal.

Una vez que se haya terminado esta actividad, se desconecta otra vez este circuito y continuamos con las otras actividades hasta terminar completamente el radio que se ensambla en este curso.

Es de mucha utilidad para el experimentador o el estudiante ensamblar este tipo de radio, ya que puede verificar y comprobar las lecciones estudiadas hasta el momento, lo mismo que reforzar los conocimientos teóricos adquiridos hasta el momento sobre los temas principales del curso.

Además podrá verificar la utilidad y las ventajas del sistema de transmisión y recepción superheterodino, cuando termine de ensamblar completamente el receptor AM de CEKIT.

También es muy importante que se realicen prácticas sobre la fabricación de las bobinas de RF, ya que se pueden llevar a cabo otro tipo de proyectos más avanzados en transmisión y recepción, que involucren la construcción de las bobinas ya que éstas no se consiguen fácilmente en el mercado.

La actividad está dividida en dos partes: la construcción de la bobina de antena y el ensamble del radio con su conexión a la etapa del amplificador de audio, que ya hemos ensamblado, en las diferentes actividades prácticas que hemos efectuado.

Antes de tratar el tema del ensamble del receptor vamos a estudiar cómo se diseñan y fabrican bobinas de RF y daremos todas las instrucciones necesarias para la construcción de la bobina de antena para esta actividad.

#### Parte 1

#### Diseño y construcción de bobinas de RF

Los experimentadores de radio que desean construir aparatos electrónicos especiales que ope-

ran en varias gamas de frecuencia, a menudo necesitan diseñar sus propias bobinas. Vamos a tratar dos métodos: un método matemático sencillo y un método gráfico muy rápido.

El sencillo método matemático ayudará al experimentador a construir sus propias bobinas de RF y a determinar la inductancia de bobinas disponibles cuyo valor se desconoce.

El problema se reduce a esto: para la operación a una frecuencia dada, ¿qué tamaño de forma para bobina, alambre y longitud de devanado se necesitan, y cuántas vueltas ha de tener la bobina?

El diseño de una bobina con núcleo de aire de una inductancia dada es relativamente fácil. Y si se conoce la gama de frecuencia que se va a cubrir y el condensador de sintonía que se va a emplear, la determinación de la inductancia requerida es más fácil aún.

Con este método los diseños resultantes no serán de alta precisión, pero sí adecuados para propósitos experimentales. Aunque está orientado hacia el diseño de bobinas, sólo se necesita invertir el procedimiento para determinar las características de las bobinas ya existentes.

#### Cómo determinar la inductancia

Supongamos que usted desea construir una bobina para la banda de radiodifusión común, y asumamos que emplea un condensador variable o de sintonía de 365 pF y la frecuencia más baja que debe sintonizar es de 540 KHz.

La inductancia  $L$  de la bobina en microhenrios ( $\mu\text{H}$ ) se determina usando la fórmula

$$L = \frac{25400}{f^2 C}$$

$C$  representa pF y  $f$ , MHz

En este problema  $C = 365$  y  $f = 0.54$ . Por lo tanto,  $L = 25400 / (0.54^2 \times 365) = 25400 / (0.29 \times 365) = 25400 / 106$ , ó 239  $\mu\text{H}$ .

Observe que se usó el extremo de baja frecuencia de la banda en este cálculo. Para determinar el extremo de alta frecuencia de la banda que usted espera cubrir con la bobina de 239  $\mu\text{H}$ , asuma que la capacidad mínima del condensador de sintonización y la capacitancia parásita del circuito es de 30 pF. La fórmula aplicable es:

$$f = \frac{159}{\sqrt{LC}}$$



En este caso,  $f = 159 / \sqrt{(239 \times 30)} = 1.88 \text{ MHz}$  o 1800 KHz. Así esta combinación cubre fácilmente la banda de radiodifusión común y se puede extender el límite de baja frecuencia para asegurarse de que la cubre adecuadamente.

### Una fórmula simplificada

Para el diseño de bobinas de RF, con una precisión hasta de 1 ó 2% aproximadamente, la fórmula es:

$$n = \frac{1}{\sqrt{L(9r + 10l)}}$$

En la que L es la inductancia en  $\mu\text{H}$ , n es el número de vueltas de la bobina, r es el radio de la bobina en pulgadas, y l es la longitud del devanado en pulgadas. Si se usa un diámetro de 1" ( $r=1/2$ ") se simplifica la fórmula más aún a:

$$n = 2\sqrt{L(4.5 + 10l)}$$

Ahora, aproximemos la inductancia requerida para la banda de radiodifusión común (con el condensador de 365 pF) a 240  $\mu\text{H}$  y asumamos que la forma de la bobina es de 1" de diámetro.

Tenemos que asumir también una longitud de devanado, de forma que probaremos con 1 1/2". El número de vueltas que se necesitan es entonces:

$$n = \sqrt{(240(4.5 + 10 \times 1.5))} \quad \text{Así,}$$

$$n = 2\sqrt{(240 \times 19.5)}, 6$$

$$n = 2\sqrt{(4680)}, \text{ que son 137 vueltas.}$$

El calibre del alambre que se emplee para devanar la bobina es opcional, siempre que el diámetro sea lo suficientemente pequeño para permitir que queden 137 vueltas en 1.5" de longitud de forma. El devanado es más fácil, por supuesto, si las vueltas se ajustan unas contra otras a lo largo de esta longitud de bobina.

El diámetro del alambre que llenará este requisito es  $1/n$  ó  $1.5/137$ , que es .0109".

El alambre N° 30 tiene .0108" de diámetro y es el más aproximado al diámetro calculado. Por consiguiente, se puede devanar la bobina con 137 vueltas juntas de alambre esmaltado N° 30.

### Método gráfico

Existen gráficos especiales para simplificar este procedimiento. En él hay líneas que tienen marcada la inductancia, el diámetro y el radio (figura A38).

Teniendo el dato de la inductancia requerida, en este caso 240  $\mu\text{H}$ , y escogiendo el diámetro de la bobina según nuestra disponibilidad, hallamos el número de vueltas o espiras que nos da esta inductancia.

### Construcción de la bobina

Con este dato, hallado con el método matemático o el método gráfico, procedemos a enrollar sobre un tubo de cartón, de plástico o PVC las vueltas de alambre necesarias. *Esta bobina será entonces una bobina de antena con núcleo de aire.*

En nuestro caso vamos a enrollar en forma apretada 140 vueltas con alambre esmaltado N° 30 sobre una formaleta o forma de 1 pulgada (1") de diámetro.

**Paso 1:** Consiga un tubo de plástico o de PVC, de los que se utilizan para las instalaciones eléctricas, de 1" de diámetro y 12 centímetros de longitud. Si no consigue este tubo, puede fabricar la formaleta de cartón delgado enrollándolo sobre algún tubo dándole varias vueltas y pegando las capas entre sí.

Cuando esté firme, retire la base y le quedará el tubo de cartón listo para enrollar la bobina.

**Paso 2:** Asegure un extremo del alambre en un sitio cercano al borde de la formaleta para la bobina y empiece a enrollar las vueltas o espiras de alambre de tal manera que queden muy juntas entre sí pero sin montarse una sobre otra. Cuando termine las 140 vueltas, asegure el terminal final como se muestra en la figura A39.

Al principio y al final deje unos 15 centímetros como terminales para la conexión de la bobina en el circuito. Como procedimiento adicional, puede aplicar esmalte transparente para uñas en algunas partes de la bobina con el fin de asegurar sus espiras o vueltas sobre la formaleta.

Para terminar la bobina quite o raspe el esmalte de los extremos y estáñelos con el fin de que se pueda soldar fácilmente al circuito.

### Parte 2

#### Ensamble del radio de galena

En la figura A40 tenemos el diagrama esquemático del circuito que vamos a ensamblar. Para hacer-



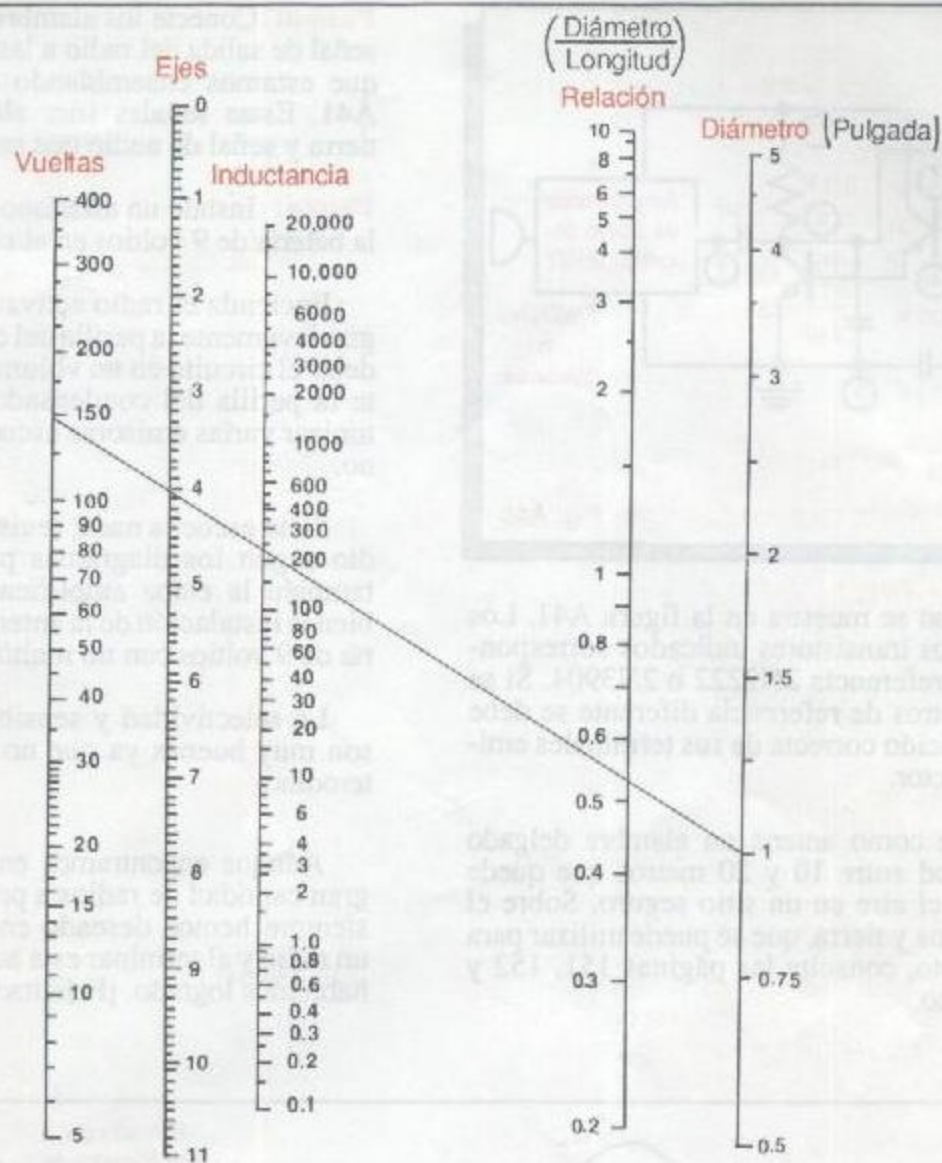


Fig. A38

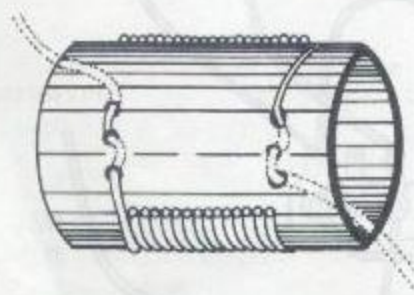


Fig. A39

lo, debemos conseguir los siguientes materiales adicionales a la bobina que hemos construido:

- 2 Transistores NPN Ref. 2N2222, 2N3904, BC549 o cualquier otro similar.
- 1 Condensador variable de  $365 \mu\text{F}$  de una sola banda para AM.
- 2 Condensadores de cerámica de  $0.1 \mu\text{F} / 25 \text{ V}$
- 1 Condensador de cerámica de  $0.01 \mu\text{F} / 25 \text{ V}$
- 1 Resistencia de  $100 \text{ K}\Omega$   $1/4 \text{ W}$  5%
- 1 Resistencia de  $3.3 \text{ K}\Omega$   $1/4 \text{ W}$  5%
- 1 Regleta de conexiones de 8 o 10 terminales

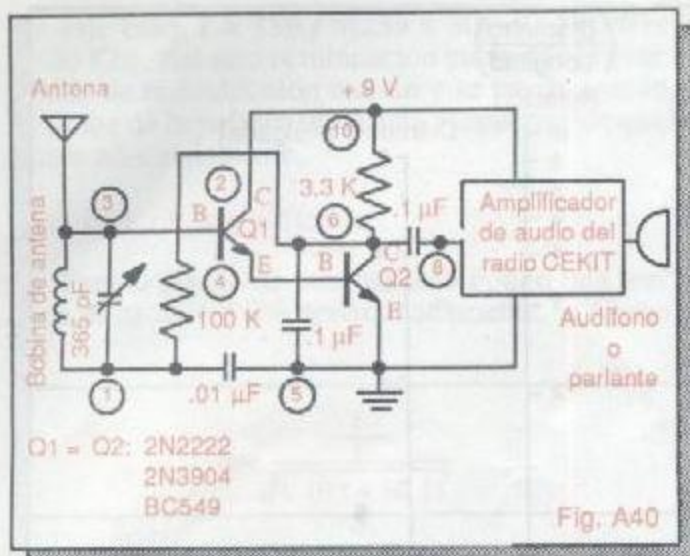
Estos materiales son de fácil consecución y bajo costo, por lo que le recomendamos que se anime a realizar esta actividad experimental que le dará una gran satisfacción y le aumentará sus conocimientos.

El condensador variable lo podemos obtener de algún radio de AM que esté dañado.

**Paso 1:** Tome los componentes y vaya soldando uno por uno de izquierda a derecha en la regleta de

Curso de radio AM, FM, Banda Ciudadana y Radioafición 219





conexiones como se muestra en la figura A41. Los terminales de los transistores indicados corresponden a los de la referencia 2N2222 o 2N3904. Si se han instalado otros de referencia diferente se debe verificar la posición correcta de sus terminales emisor, base y colector.

**Paso 2:** Instale como antena un alambre delgado con una longitud entre 10 y 20 metros que quede suspendido en el aire en un sitio seguro. Sobre el sistema de antena y tierra, que se puede utilizar para este experimento, consulte las páginas 151, 152 y 153 de este curso.

**Paso 3:** Conecte los alambres correspondientes a la señal de salida del radio a las puntillas del radio AM que estamos ensamblando como indica la figura A41. Estas señales son: alimentación de voltaje, tierra y señal de audio que se debe amplificar.

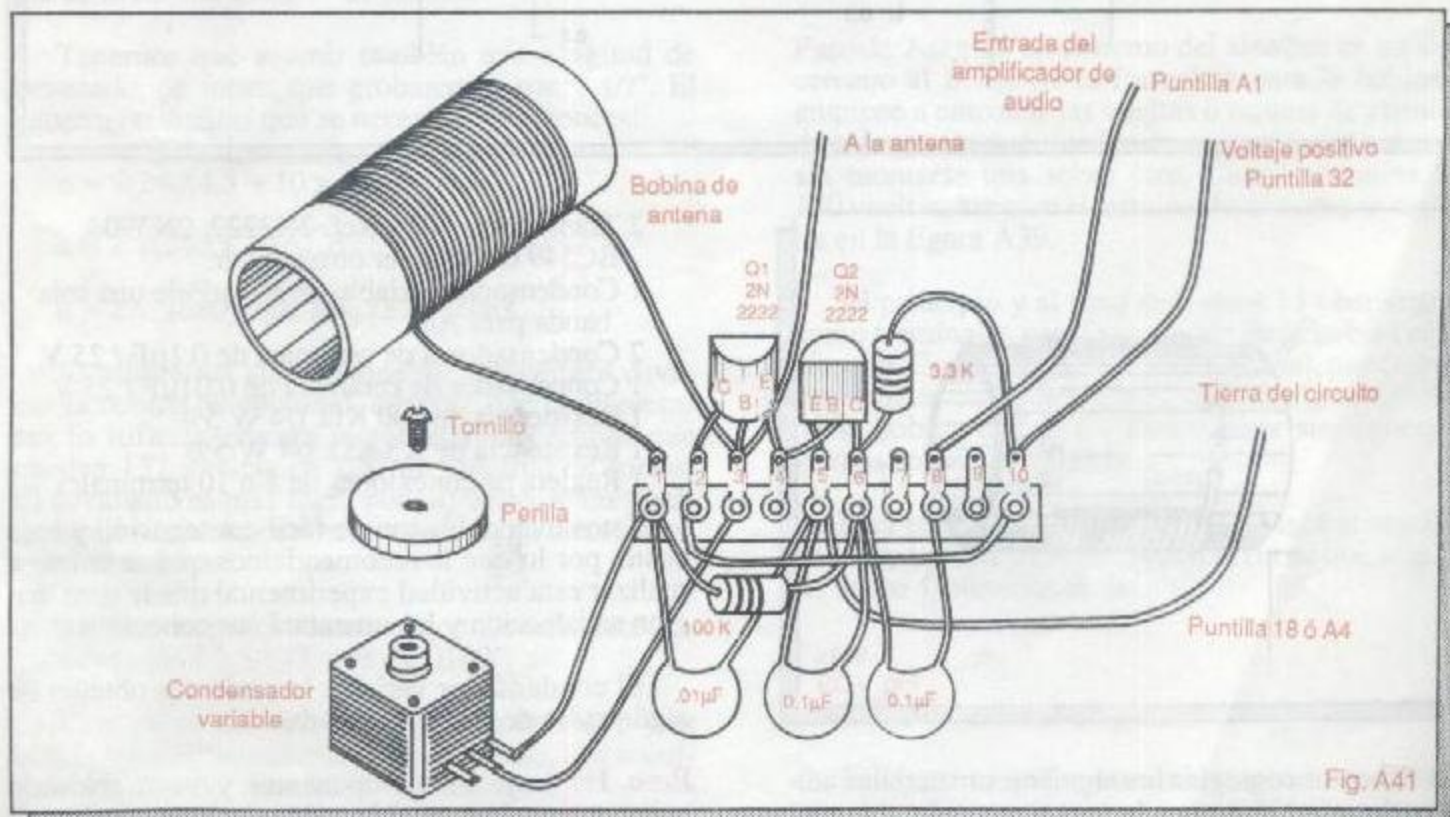
**Paso 4:** Instale un audífono en la salida del radio y la batería de 9 voltios en el conector de potencia.

Encienda el radio activando el suiche general y gire levemente la perilla del control de volumen para dejar el circuito en un volumen alto. Gire lentamente la perilla del condensador variable y debe sintonizar varias emisoras escuchándolas en el audífono.

Si no escucha nada, revise las conexiones del radio según los diagramas presentados y verifique también la etapa amplificadora de audio. Revise bien la instalación de la antena y el voltaje de la batería de 9 voltios con un multímetro.

La selectividad y sensibilidad de este radio no son muy buenas ya que no tiene sistema superheterodino.

Aunque encontramos en el mercado actual una gran cantidad de radios a precios muy económicos, siempre hemos deseado en nuestro interior armar un radio y al terminar esta actividad experimental lo habremos logrado. ¡Felicitaciones !.





## El sistema de FM

### Introducción

La modulación de frecuencia o FM, es uno de los métodos de transmisión de información más populares de nuestro tiempo. La principal razón de esta popularidad es la recepción prácticamente libre de ruido que este sistema provee, especialmente si se compara con la modulación de amplitud, su competidor más próximo.

La modulación de frecuencia se utiliza tanto en radioafición como en radiodifusión comercial o "broadcasting". El sonido de TV en VHF y UHF también se transmite en FM.

Las estaciones de radiodifusión comercial en FM transmiten en la banda de 88 a 108 MHz. A cada emisora se le asigna un ancho de banda de 200 KHz.

Para los radioaficionados se han destinado ciertas bandas específicas. La más conocida es la de 2 metros, la cual comprende frecuencias alrededor de 144 MHz.

Otras bandas de radioafición en FM muy populares son las de 52 a 54 MHz, 146 a 148 MHz, 222 a 225 MHz y 440 a 450 MHz, todas en el espectro de VHF.

En esta lección estudiaremos los fundamentos de la modulación de frecuencia, sus orígenes, sus ventajas y desventajas y otros temas de interés.

Conoceremos también cómo están estructurados, en términos generales, un transmisor y un receptor de FM.

Todo esto nos servirá como base para emprender, a partir de la próxima lección, el estudio completo de un receptor experimental de FM que usted mismo podrá construir, analizar y reparar, paso a paso.

### Orígenes de la modulación de frecuencia

Los orígenes de la FM moderna se remontan a 1922, cuando Carson comparó matemáticamente los sistemas de AM y FM y demostró, con los métodos de detección conocidos en la época, que la modulación de frecuencia era inferior a la de amplitud, porque requería de más ancho de banda e introducía mayor distorsión.

El trabajo de Carson fue publicado originalmente en la revista "Procedimientos del IRE" de Febrero de 1922 y se titulaba "Notas sobre la Teoría de la Modulación". IRE es la sigla en inglés del Instituto de Ingenieros de Radio, hoy llamado Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE).

Carson fue injustamente criticado cuando la detección práctica de FM fue posible, pero sus argumentos prevalecieron por más de una década.

En 1936, el mayor Edwin H. Armstrong, en un intento por reducir los problemas de estática y ruido asociados con las recepciones de AM, desarrolló un método práctico de detección de FM y estableció las bases para lograr que la FM fuera competitiva con la AM.

El trabajo original de Armstrong fue publicado también en la revista "Procedimientos del IRE", pero en mayo de 1936 y se titulaba "Método de Reducir las Distancias en Radio-Señalización mediante un Sistema de Modulación de Frecuencia".

A Armstrong se le considera como el padre del sistema FM, aunque después de él surgieron pioneros como Crosby, Noble, Grammer, Goodman y otros. La modulación de frecuencia no fue un descubrimiento casual: nació primero en el papel y luego se comprobó en la práctica.

En 1939, el profesor Daniel E. Noble, de la Universidad de Connecticut, estableció formalmente los principios de la modulación de frecuencia, en un artículo titulado "Fundamentos de FM", publicado en la revista "QST" de agosto de ese año.

Noble había sido colaborador de Armstrong y entre ambos diseñaron dos estaciones de radiodifusión experimentales de FM de 43 MHz. Noble fue también el pionero de las comunicaciones móviles de dos vías en VHF-FM utilizando repetidoras.

### Ventajas y desventajas de la modulación de frecuencia

La principal ventaja de la modulación de frecuencia es su habilidad para producir una alta relación de señal a ruido (SNR) cuando recibe una señal de moderada intensidad.

En otras palabras, la recepción en FM está prácticamente exenta de ruido e interferencia.



Por esta razón, la modulación de frecuencia es el modo elegido por los servicios de comunicaciones móviles y por las emisoras que difunden programas de calidad, en especial emisiones musicales.

En su camino del transmisor al receptor, una señal de RF puede incorporar ruido natural o ruido hecho por el hombre (MMN). El primero proviene de descargas atmosféricas y el segundo de aparatos generadores de chispa, como motores eléctricos, avisos luminosos de neón y sistemas de ignición de automóviles y motocicletas.

Todo ruido, cualquiera que sea su origen, modula en amplitud una onda viajera de RF. Por consiguiente, el ruido afecta la reproducción de la información en transmisiones de AM. La información transmitida puede ser sonido, imagen o de otro tipo.

La anterior es la razón por la cual los receptores de radio AM y de TV son muy susceptibles a los ruidos e interferencias provenientes de electrodomésticos, automóviles, aviones, luces, etc. (figura 367). La información de la imagen en TV se envía modulada en amplitud.



El ruido no afecta la recepción de FM porque los circuitos de detección de información responden solamente a las variaciones de frecuencia e ignoran las variaciones de amplitud. En la figura 368 se muestra el caso de una señal de FM modulada en amplitud por ruido.

El ruido inducido en una señal modulada de RF puede también interferir con la frecuencia de la portadora, desviándola de su valor central.

Este problema se soluciona en los sistemas de FM utilizando, en el transmisor, un circuito de *preénfasis* a la entrada de audio del modulador y, en el receptor, un filtro de *deénfasis* a la salida del detector o demodulador.

## Señal de FM con ruido

"El ruido afecta la amplitud de la señal FM"

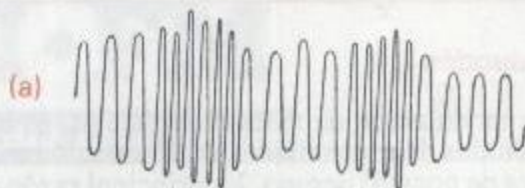
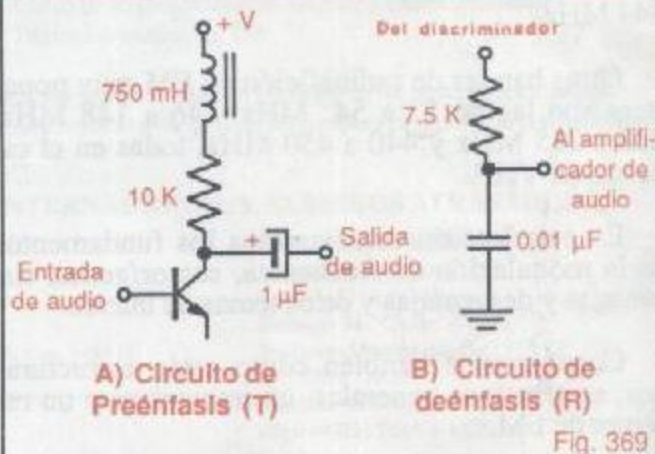


Fig. 368

El circuito de preénfasis o preacentuación atenúa las frecuencias más bajas de audio y el de deénfasis las restablece a sus valores originales.

En la figura 369A se muestra un ejemplo de circuito de preénfasis, utilizado en transmisión de FM, y en la figura 369B un ejemplo de circuito de deénfasis, empleado en recepción.

## Circuitos de eliminación del ruido en FM



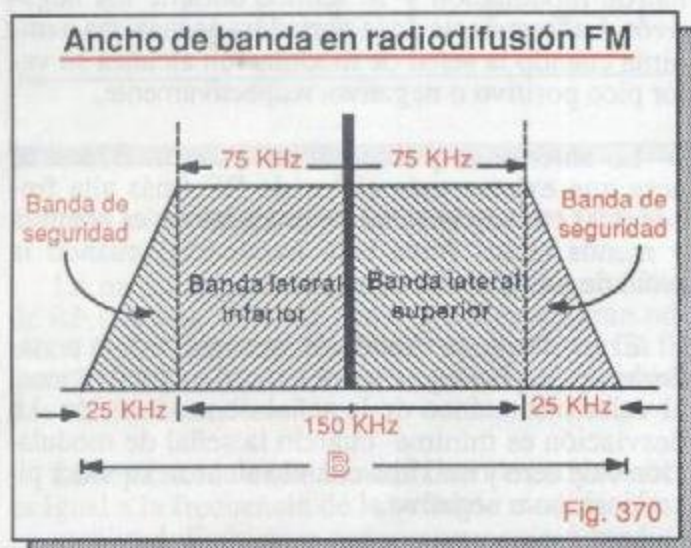
En contraste con la alta inmunidad al ruido, las señales de FM requieren de un gran ancho de banda y experimentan una severa distorsión cuando se propagan a través de la ionosfera.

En radioafición, esta última circunstancia limita el uso de la modulación de frecuencia a bandas como la de 10 metros y a varios sectores del espectro de VHF, como las bandas de 52 a 54 MHz, 146 a 148 MHz y otras.

El amplio ancho de banda requerido en FM es otro de los factores determinantes de la alta calidad de reproducción de sonido que se consigue por este sistema.



En radiodifusión por FM (88 a 108 MHz), las estaciones transmiten información dentro de un ancho de banda de 150 KHz, con 25 KHz más de seguridad a cada lado de los extremos de la banda. En total, disponen de 200 KHz (figura 370).

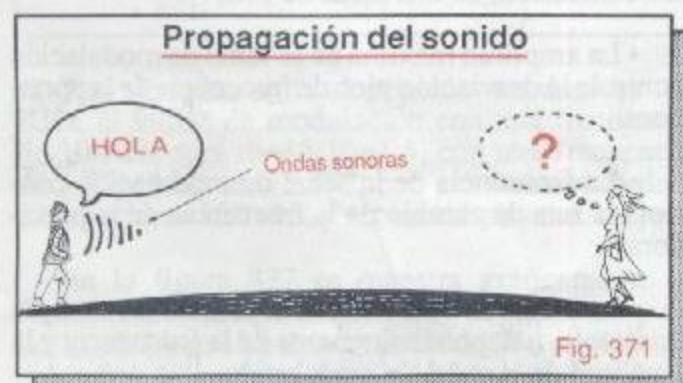


Este ancho de banda es 20 veces más grande que el utilizado en radiodifusión por AM (530 a 1600 KHz), donde se dispone de solo 10 KHz para enviar una gama muy limitada de tonos.

La utilización de un ancho de banda tan amplio permite introducir en la señal de FM toda la gama audible de sonidos (20 Hz a 20 KHz), incluyendo sus armónicos. Estos últimos son los que le dan el timbre distintivo a cada sonido, imprimiéndole fidelidad y realismo a cada audición.

### Métodos de modulación

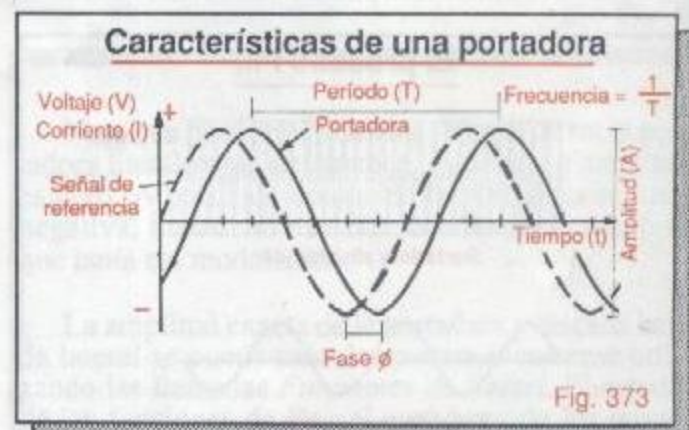
La propagación del sonido por el espacio tiene un alcance restringido. Por ejemplo, el sonido emitido por la voz humana no puede ir más allá de ciertos límites, incluso si se tiene una voz potente o se utiliza un amplificador de audio (figura 371).



Para transmitir sonido y, en general, cualquier información inteligente (voz, música, etc.) a lugares distantes, esta última debe convertirse en una señal eléctrica equivalente y luego enviarse modulada sobre una portadora de alta frecuencia. La señal resultante puede así irradiarse fácilmente al espacio, en forma de una onda electromagnética (figura 372).



Mediante el proceso de modulación modificamos cualquier característica de la portadora de acuerdo a la información de audio que deseamos transmitir. Las características de una portadora susceptibles de modular son su amplitud, su frecuencia y su fase (figura 373).

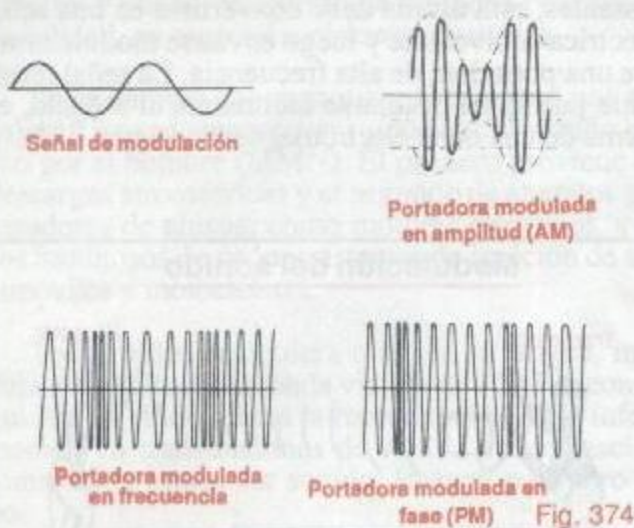


Cuando la señal de modulación varía la amplitud de la portadora se obtiene **modulación de amplitud** (AM), cuando varía su frecuencia se obtiene **modulación de frecuencia** (FM) y cuando varía su fase el resultado es **modulación de fase** (PM). En la figura 374 se comparan las señales obtenidas por los tres métodos.

Los fundamentos de la modulación de amplitud se estudian en la Lección 19 de este curso. En esta lección nos ocuparemos exclusivamente de la modu-



## Métodos de modulación

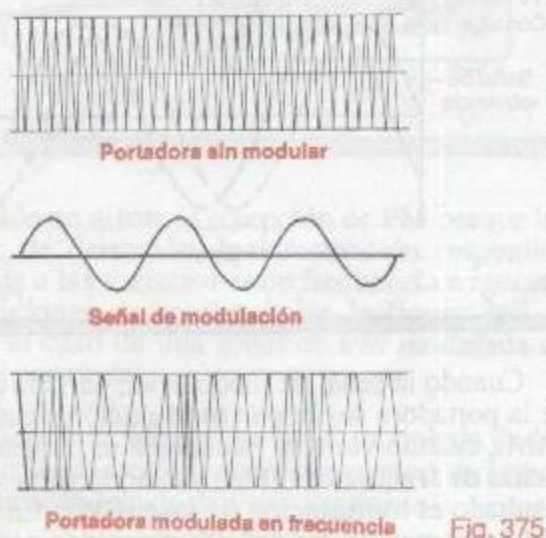


lación de frecuencia. La modulación de fase está estrechamente relacionada con la de frecuencia, puesto que no se puede variar la frecuencia de una señal sin afectar su fase y viceversa.

### La modulación de frecuencia

En la figura 375 se describe gráficamente el proceso de modulación de frecuencia de una portadora de RF mediante una señal de audio. La combinación de estas dos señales la realiza en el transmisor un circuito especializado llamado *modulador*.

### El proceso FM



En condiciones normales sin señal de entrada, la amplitud y frecuencia de la portadora permanecen constantes. Cuando se aplica la señal de modula-

ción, la frecuencia de la portadora varía por encima y por debajo de su valor central de acuerdo a la amplitud y polaridad de la señal de modulación o de audio aplicada.

Específicamente, la frecuencia de la portadora se incrementa durante los semiciclos positivos de la señal de modulación y se reduce durante los negativos. La frecuencia de la portadora es máxima o mínima cuando la señal de modulación alcanza su valor pico positivo o negativo, respectivamente.

Lo anterior se puede ver en la figura 375 si se nota que existen más ciclos de RF (más alta frecuencia) cuando la señal de modulación es positiva y menos ciclos (más baja frecuencia) cuando la señal de modulación es negativa.

El cambio o *desviación* de frecuencia de la portadora con respecto a su valor central es proporcional al valor instantáneo de la señal de modulación. La desviación es mínima cuando la señal de modulación vale cero y máxima cuando alcanza su valor pico, positivo o negativo.

La desviación máxima o pico se llama  $\Delta f_c$  ("delta  $f_c$ ") y su valor lo define el transmisor. Las estaciones de radiodifusión de FM que transmiten en la banda de 88 a 108 MHz utilizan una desviación máxima de  $\pm 75$  KHz.

En televisión,  $\Delta f_c = \pm 25$  KHz. En otros sistemas FM menos conocidos,  $\Delta f_c = \pm 15$  KHz.

Para aclarar este concepto daremos un ejemplo. Si se modula una portadora de 100 MHz con una onda seno de 1 KHz y 1 Vp de amplitud en un sistema que tiene una desviación pico de  $\pm 15$  KHz, la frecuencia de la portadora oscilaría 1000 veces por segundo entre 99985 KHz y 100015 KHz.

Una señal de modulación de 2 Vp y 1 KHz causaría una desviación máxima de  $\pm 30$  KHz. Una señal de 2Vp y 2 KHz provocaría también una desviación pico de  $\pm 30$  KHz pero a una rata de cambio de 2000 veces por segundo.

En conclusión, en una señal de FM:

- La amplitud máxima de la señal de modulación controla la desviación pico de frecuencia de la portadora.
- La frecuencia de la señal de modulación controla la rata de cambio de la frecuencia de la portadora.
- La amplitud de la portadora permanece siempre constante, independientemente de la frecuencia y la amplitud de la señal de modulación.





### Bandas laterales e índice de modulación en FM

La modulación en frecuencia de una portadora de RF con una señal de audio produce un gran número de bandas laterales, como se muestra en la figura 376. La modulación de amplitud sólo produce dos bandas laterales.

La separación entre bandas laterales adyacentes es igual a la frecuencia de la señal de modulación y su amplitud disminuye progresivamente a medida que se alejan de la portadora. Las bandas laterales más próximas a la portadora son las más fuertes o significativas y las más alejadas, las más débiles.

Por ejemplo, si se modula en frecuencia una portadora de 100 MHz con un tono de 2 KHz, el primer par de bandas laterales estará ubicado en 99.998 MHz y 100.002 MHz, respectivamente, el segundo en 99.994 MHz y 100.004 MHz, el tercero en 99.996 MHz y 100.006 MHz, y así sucesivamente.

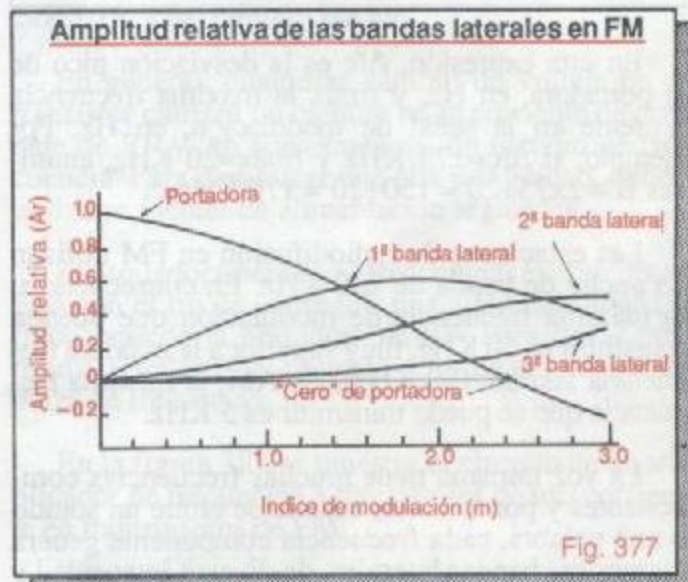
La amplitud de la portadora y de las bandas laterales depende del *índice de modulación* del proceso. En FM, el índice de modulación ( $m$ ) se define como la relación entre la máxima desviación de frecuencia de la portadora ( $\Delta f_c$ ) y la frecuencia de la señal de modulación ( $f_m$ ). Esto es:

$$\text{Índice de modulación } (m) = \frac{\Delta f_c}{f_m}$$

Por ejemplo, si la desviación máxima es 15 KHz, el índice de modulación con una frecuencia de 10 KHz será  $m=15/10=1.5$ , con una frecuencia de 5 KHz sería  $m=15/5=3$ , con una frecuencia de 1 KHz sería  $m=15/1=15$ , y así sucesivamente.

En la figura 377 se muestra gráficamente la forma como varía la amplitud de la portadora y de las bandas laterales de una señal de FM en función del índice de modulación. En AM, la amplitud de la

portadora permanece constante y sólo las bandas laterales varían de amplitud.



Note que para determinados valores de  $m$ , la portadora literalmente desaparece, es decir, su amplitud es cero. A partir de entonces, la portadora se hace negativa, invirtiendo su fase con respecto a la fase que tenía sin modular.

La amplitud exacta de la portadora y de cada banda lateral se puede calcular matemáticamente utilizando las llamadas *Funciones de Bessel*. El estudio de las funciones de Bessel está fuera de los propósitos de este curso.

Los valores de amplitud suministrados por la figura 377 son relativos. El valor real de la portadora o de cualquier par de bandas laterales se obtiene multiplicando el valor relativo obtenido ( $A_r$ ) por la amplitud de la portadora sin modular ( $A_c$ ).

Por ejemplo, si  $m=2$  y  $A_c=5V$ , entonces, para el primer par de bandas laterales,  $A_r \approx 0.9$ . En consecuencia, la amplitud real de la primera banda lateral es  $A_r \times A_c = 0.9 \times 5 = 4.5 V$ .



## Ancho de banda en FM

Por definición, el ancho de banda de una señal modulada es la separación de frecuencia entre las bandas laterales más alejadas de la portadora. En FM el número de bandas laterales es muy grande. Por consiguiente, desde el punto de vista teórico, el ancho de banda de una señal de FM es ilimitado.

En la práctica, se omiten las bandas laterales menos significativas, es decir, las más alejadas de la portadora. Desde este punto de vista, el ancho de banda de una señal de FM se define, en forma aproximada, como sigue:

$$B = 2\Delta f_c + f_{\text{máx}}$$

En esta expresión,  $\Delta f_c$  es la desviación pico de la portadora, en Hz, y  $f_{\text{máx}}$  la máxima frecuencia presente en la señal de modulación, en Hz. Por ejemplo, si  $\Delta f_c = \pm 75$  KHz y  $f_{\text{máx}} = 20$  KHz, entonces  $B = 2 \times 75 + 20 = 150 + 20 = 170$  KHz.

Las estaciones de radiodifusión en FM utilizan un ancho de banda de 200 KHz. En consecuencia, la máxima frecuencia de modulación que pueden transmitir es 50 KHz, muy superior a la máxima frecuencia audible (20 KHz). En AM, la máxima frecuencia que se puede transmitir es 5 KHz.

La voz humana tiene muchas frecuencias componentes y por lo tanto, cuando se emite un sonido o una palabra, cada frecuencia componente genera numerosas bandas laterales, de diversa intensidad y distanciadas de manera diferente en cada instante.

El número de bandas laterales significativas está también cambiando permanentemente. El resultado es un espectro continuo de bandas laterales a cada lado de la portadora (figura 378).

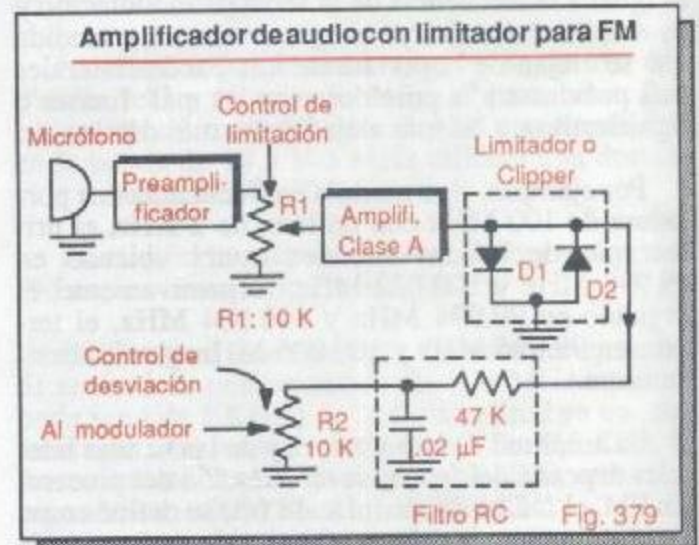


Note que el ancho de banda de una señal de FM depende tanto de la amplitud como de la frecuencia de la señal de modulación. Esto es particularmente importante cuando se modula la voz humana.

Dos voces nunca exhiben las mismas características de amplitud y frecuencia. En consecuencia, ambas tienen efectos diferentes en el ancho de banda.

Por esta razón, para enviar el máximo de información de audio, el control de desviación del transmisor debe ajustarse de acuerdo a las características de voz del locutor. Esta operación puede resultar incómoda e imprecisa.

Para minimizar este problema, los equipos de FM utilizan un circuito denominado "clipper" o limitador en la sección procesadora de audio del transmisor. En la figura 379 se muestra el diagrama de bloques de la etapa amplificadora de audio de un transmisor típico de FM.



En este circuito,  $R1$  establece el nivel de limitación o recorte de la amplitud de la señal de audio y  $R2$  la cantidad de desviación deseada. El filtro minimiza la distorsión de la señal de salida. La operación de recorte de los picos de audio la realizan los diodos  $D1$  y  $D2$ .

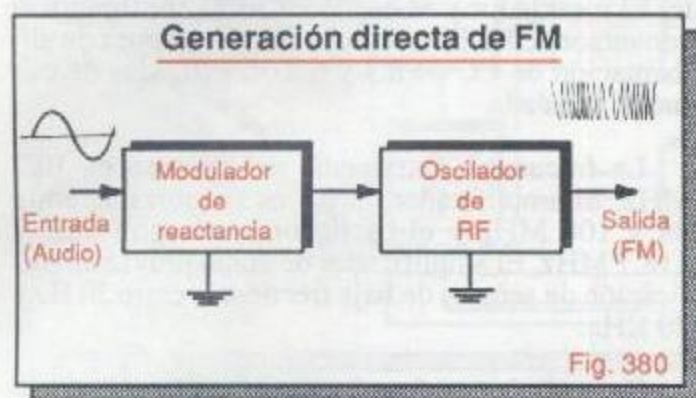
## Métodos de modulación de frecuencia

Existen básicamente dos métodos de modulación de frecuencia: el directo y el indirecto. En esta sección se describe el método directo por ser el más sencillo. El método indirecto se estudia en una lección posterior.

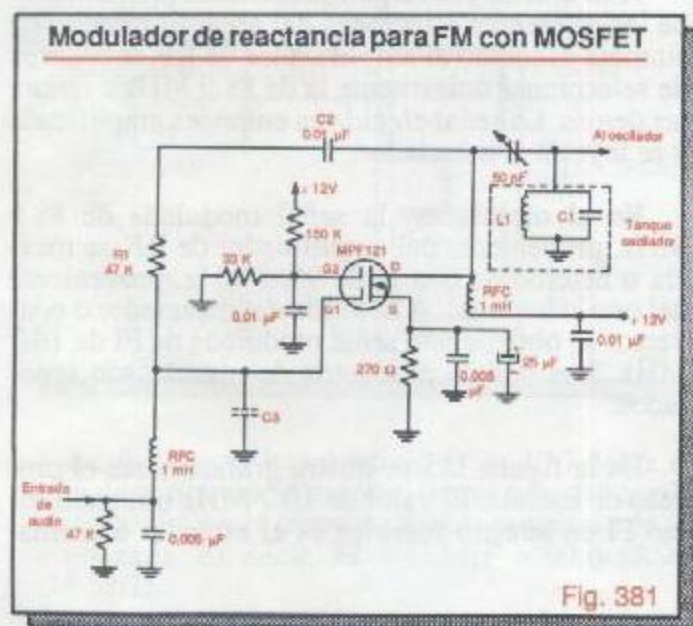
El proceso de modulación de frecuencia se realiza en el transmisor en un circuito denominado *modulador de reactancia*. El modulador de reactancia



recibe la señal de audio y controla la frecuencia de un oscilador, actuando como un condensador o una bobina variable (figura 380).



En la figura 381 se muestra el circuito de un modulador de reactancia con transistor MOSFET. La compuerta G1 se conecta al circuito tanque L1C1 del oscilador a través de la resistencia R1 y el condensador C2. El condensador C3 representa la capacitancia de entrada del transistor.



La resistencia R1 es relativamente grande comparada con la reactancia de C3 a la frecuencia de operación. Por lo tanto, la corriente de RF a través de R1 y C3 está prácticamente en fase con el voltaje de RF presente en los terminales del circuito tanque.

Sin embargo, el voltaje a través de C3 se retrasará  $90^\circ$  con respecto a la corriente a través suyo. Esto provoca que la corriente de RF del circuito de drenaje se retrase también  $90^\circ$  con respecto al voltaje de RF del circuito tanque.

El efecto es el mismo que se obtendría si se conectara una bobina entre los terminales del tanque. Por consiguiente, la frecuencia del oscilador cambia, aumentando en proporción a la cantidad de desfase entre la corriente y el voltaje.

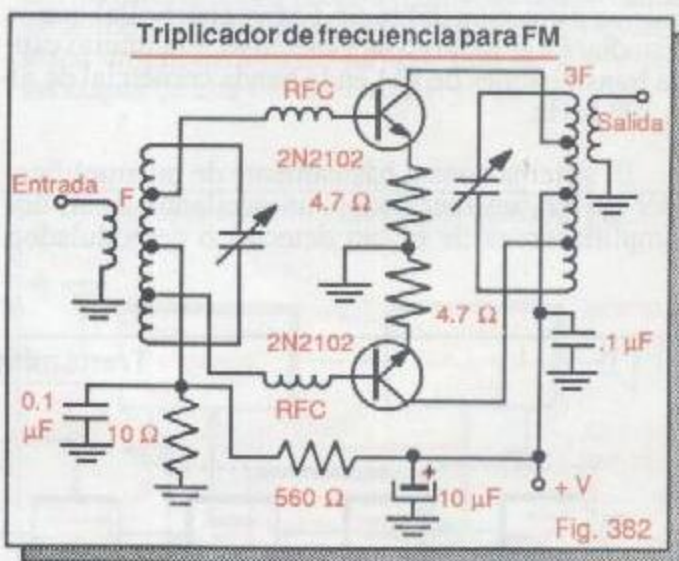
La señal de audio, aplicada a la compuerta del MOSFET a través del choque de RF, varía la transconductancia del transistor ( $g_m$ ) y por lo tanto varía también la corriente de salida de RF que circula a través del circuito de drenaje. La transconductancia depende también del valor de R1.

La resistencia R1 es, en realidad, el control de desviación de frecuencia del modulador. Para un nivel determinado de audio, la desviación aumenta a medida que aumenta el valor de R1 y viceversa. La desviación también aumenta cuando aumenta la relación L1/C1 del circuito tanque.

En general, cualquier cambio de voltaje en el transistor causará un cambio en la corriente de drenaje de RF y, en consecuencia, un cambio de frecuencia. Para garantizar una alta estabilidad, deben utilizarse fuentes de alimentación reguladas.

El oscilador opera a una frecuencia relativamente baja con el fin de conseguir una alta estabilidad de frecuencia de la portadora de RF. Para llevar esta última al valor final deseado se utilizan multiplicadores de frecuencia.

En la figura 382 se muestra el circuito de un triplicador de frecuencia a transistores de uso corriente en transmisores de FM.



Los multiplicadores son, básicamente, amplificadores no lineales y, por lo tanto, generan armónicos, es decir, frecuencias que son múltiplos enteros (2, 3, 4, etc.) de la frecuencia de entrada. El



tanque sintonizado de salida selecciona el armónico deseado, en este caso el tercero.

## Transmisores de FM

En la figura 383 se muestra el diagrama de bloques de un transmisor de FM típico. El sistema consiste básicamente de una fuente de señal, un procesador de audio, un modulador, un oscilador, varias etapas multiplicadoras, dos amplificadores de RF, un circuito de CAF y la antena.

El primer amplificador de RF se denomina excitador. La función del CAF (control automático de frecuencia) es estabilizar la frecuencia de salida. En el procesador de audio, la señal proveniente del micrófono se somete inicialmente al proceso de preénfasis, luego se amplifica y finalmente se limita.

El procesador de audio incluye el control de limitación de amplitud y el modulador el de desviación de frecuencia. Una vez amplificada y limitada, la señal de audio se aplica al modulador de reactancia, donde se verifica el proceso de modulación de frecuencia anteriormente descrito.

La señal de salida del modulador se aplica a varias etapas multiplicadoras de RF, las cuales desplazan la frecuencia de la portadora hasta obtener la frecuencia final deseada. Una vez obtenida, esta señal se inyecta a los amplificadores de RF y se irradia al exterior a través de la antena.

## Receptores de FM

En la figura 384 se muestra el diagrama de bloques de un receptor superheterodino de FM, con la misma estructura del radio FM experimental que se estudiará a lo largo de este curso. El circuito capta transmisiones de FM en la banda comercial de 88 a 108 MHz.

El sistema consta básicamente de un amplificador de RF, un mezclador, un oscilador local, dos amplificadores de FI, un detector o demodulador,

un circuito de control automático de frecuencia (CAF) y un amplificador de audio.

Asociado al amplificador de RF está el circuito de antena. El amplificador de audio maneja el parlante. El mezclador y el oscilador local configuran el conversor de FI. El receptor utiliza tensiones de alimentación de CC de 8.3 y 6.2 V, extraídas de una fuente regulada.

La frecuencia intermedia del proceso es 10.7 MHz. El amplificador de RF es sintonizable entre 88 y 108 MHz y el oscilador local entre 98.7 y 118.7 MHz. El amplificador de audio provee amplificación de señales de baja frecuencia entre 20 Hz y 20 KHz.

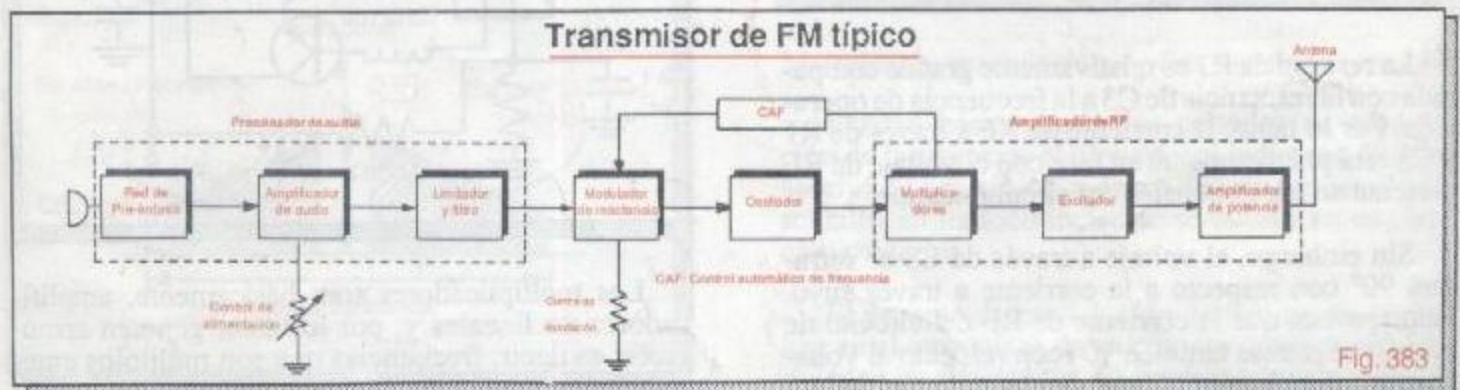
Después de esta descripción general, veamos cómo opera el receptor.

Para simplificar la explicación, supongamos que el circuito de sintonía está ajustado para captar la señal enviada por una estación de FM que transmite con una frecuencia de portadora de 88.9 MHz. En consecuencia, la frecuencia del oscilador local es, automáticamente,  $88.9 + 10.7 = 99.6$  MHz.

A la antena convergen las señales provenientes de las diferentes estaciones del área. El circuito de sintonía asociado al amplificador de RF se encarga de seleccionar únicamente la de 88.9 MHz e ignora las demás. La señal elegida es entonces amplificada y se inyecta al mezclador.

En el mezclador, la señal modulada de 88.9 MHz, proveniente del amplificador de RF, se mezcla o heterodina con la de 99.6 MHz, proveniente del oscilador local. A la salida del mezclador o conversor se obtiene una señal modulada de FI de 10.7 MHz. Los demás productos de mezcla son ignorados.

En la figura 385 se ilustra gráficamente el proceso de mezcla. El valor de 10.7 MHz utilizado como FI en nuestro receptor es el estándar o norma-





**Receptor superheterodino de FM**

Antena (88 - 108 MHz) → 88.9 MHz → Amplificador de RF → 10.7 MHz → Mezclador → 10.7 MHz → 1er. amplifi. de FI → 10.7 MHz → 2do. amplifi. de FI → Detector de FM → 20Hz - 20 KHz → Amplificador de audio → Parlante

CV1 → 88 - 108 MHz → Amplificador de RF

CV2 → Oscilador local → 99.6 MHz → CAF → +6.2 V → Fuente de alimentación

Fuente de alimentación → +8.3 V → Amplificador de audio

FM 88 90 92 94 96 98 100 102 104 106 108 MHz

Fig. 384

modulada de FI, al mismo tiempo que se deshace

modulada de FI, al mismo tiempo que se deshace de la portadora de esta última (10.7 MHz). El proceso de detección utilizado en FM es sustancialmente diferente del empleado en un receptor de AM.

### Proceso de mezcla en el receptor

### Proceso de mezcla en el receptor

El diagrama ilustra el proceso de mezcla en un receptor de radio. Se muestra una antena que recibe una señal en el rango de 88-108 MHz. Esta señal es amplificada por un amplificador de RF y luego enviada a un convertidor. El convertidor contiene un mezclador y un oscilador local. El oscilador local genera una señal de 99.6 MHz que se mezcla con la señal de RF (88.9 MHz) en el mezclador. El resultado es una señal de 10.7 MHz, calculada como  $F_I = LO - RF$ .

Fig. 385

\_\_\_\_\_

El propósito del circuito de control automático de frecuencia (CAF) es mantener constante la frecuencia del oscilador local, evitando su desplazamiento. Este control se logra mediante un nivel de CC proveniente de la salida del detector.

En síntesis, el efecto neto del proceso de mezcla es trasladar la modulación original de la portadora (88.9 MHz) a una portadora más baja (10.7 MHz). La información transportada por ambas señales es la misma.

**Voltajes de alimentación del receptor FM**

El diagrama ilustra el suministro de energía a un receptor FM. Una fuente de alimentación regulada, conectada a 115 VAC, proporciona dos voltajes: +6.2 V a la etapa de alta frecuencia (RF y FI) y +8.3 V a la etapa de baja frecuencia (audio). La etapa de alta frecuencia está conectada a una antena que recibe ondas de radio. La etapa de baja frecuencia está conectada a un parlante que produce ondas sonoras.

Fig. 386

La utilización de una fuente regulada garantiza una reproducción de sonido de excelente calidad, sin ruido, y exenta de zumbidos, acorde con las características de la señal de FM recibida. El circuito completo del receptor se muestra en la figura 387.



Diagrama esquemático del receptor FM experimental

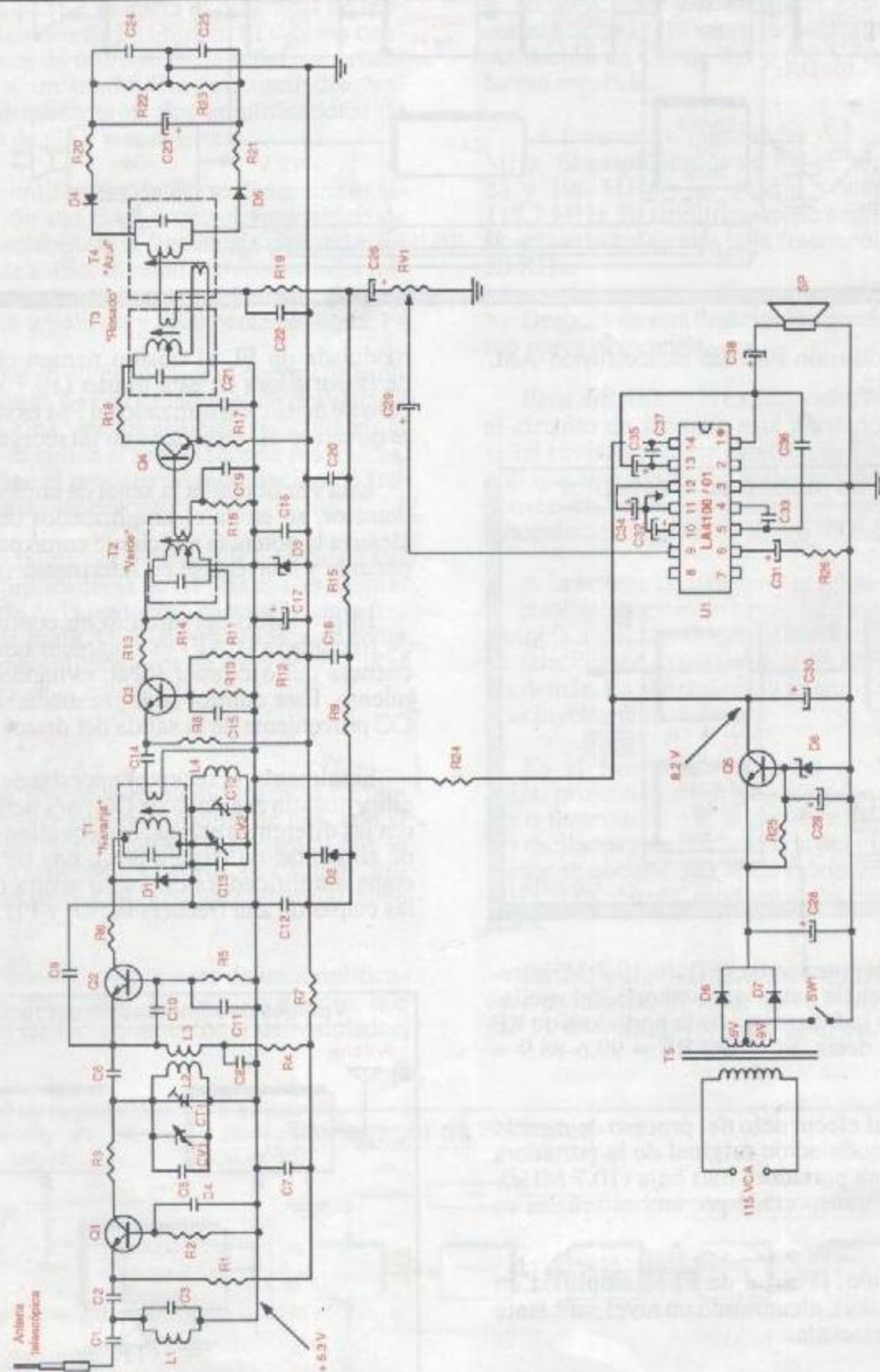


Fig. 387



La fuente de alimentación consta básicamente de un transformador (T5), un rectificador de onda completa (D6, D7), un filtro de RF (C28) y dos circuitos reguladores de voltaje. El transformador se alimenta con 115 V de CA.

El primer regulador utiliza un transistor (Q5) y proporciona los 8.3 V para el amplificador de audio. El segundo emplea un diodo zener (D3) y provee los 6.2 V de las etapas de alta frecuencia.

El elemento activo del amplificador de RF es el transistor Q1. El circuito tanque formado por L1 y C3 tiene un ancho de banda suficiente para cubrir toda la gama de FM (88 a 108 MHz).

La sintonización propiamente dicha se realiza en el circuito tanque constituido por el condensador variable CV1, el trimmer CT1, el condensador fijo C5 y la bobina L2.

El conversor de FI es el transistor Q2. Este dispositivo realiza simultáneamente las funciones de mezclador y oscilador.

El circuito resonante constituido por el condensador variable CV2, el trimmer CT2, la bobina L4 y el condensador fijo C13, determina la frecuencia del oscilador local.

El condensador CV2 trabaja en tandem con el condensador de sintonía CV1, con el fin de proveer una diferencia de 10.7 MHz entre la frecuencia del oscilador local y la frecuencia de la portadora de FM.

El transistor Q2 realiza la mezcla de las dos frecuencias y produce en su circuito de colector todos los productos de mezcla posibles. El transformador sintonizado T1 se encarga de extraer únicamente la componente de FI, es decir, la que tiene la frecuencia diferencia (10.7 MHz).

La bobina L3 y el condensador C8 constituyen un circuito "trampa" sintonizado a 10.7 MHz. Su función es impedir que la señal de FI se devuelva al emisor y origine oscilaciones parásitas.

El elemento activo del primer amplificador de FI es el transistor Q3, conectado en la configuración base común. El circuito posee un transformador sintonizado a 10.7 MHz en el circuito de colector (T2).

El segundo amplificador de FI es el transistor Q4, conectado en la configuración emisor común. Este circuito posee también un transformador sintonizado a 10.7 MHz en su circuito de salida.

El demodulador de audio utilizado se denomina "detector de relación". Su función consiste en con-

vertir las variaciones de frecuencia de la señal modulada de FI en variaciones de amplitud de baja frecuencia, es decir, en señales de audio.

El detector de relación lo constituyen los transformadores T3 y T4, los diodos D4 y D5 y un filtro RC pasabajos de salida formado por R20 hasta R23 y C23 hasta C25. La salida de audio se obtiene del secundario de T3. El estudio completo del detector se realiza en la Lección 33 de este curso.

El circuito de control automático de frecuencia (CAF) basa su operación en las propiedades del diodo varactor D2. Este dispositivo actúa como un condensador de capacidad variable en paralelo con el circuito tanque de oscilador local (CV2, L4, etc.).

La tensión inversa de polarización de D2 se obtiene de la señal de audio a través de R15, C16, R9 y C20. La operación detallada del CAF se estudia en la Lección 34 de este curso.

El elemento central del amplificador de audio es el circuito integrado LA4100/01. La señal de salida para el parlante se obtiene del pin # 1. La señal de entrada se aplica al pin # 9. El circuito puede proveer hasta 1.5 W de potencia.

La tensión de alimentación del amplificador de audio se aplica a los pines # 14 (+ 8.3V) y # 3 (tierra). Los demás componentes (C32, C33, etc.) cumplen funciones auxiliares.

La operación completa del CILA 4100/01 se describe en detalle en la Lección 38 de este curso. El dispositivo incorpora internamente 14 transistores y 12 resistencias y tiene el aspecto mostrado en la figura 388.



Todos los circuitos del receptor, desde el amplificador de RF hasta el amplificador de audio se estudian detalladamente a partir de la próxima lección.



## El sistema FM estéreo

En la figura 389 se muestra la disposición básica de un transmisor de FM estéreo. Las señales provenientes de los micrófonos derecho (R) e izquierdo (L) se procesan en un mezclador de audio. A la salida del mezclador se obtiene la señal suma  $L+R$  y la señal diferencia  $L-R$ .

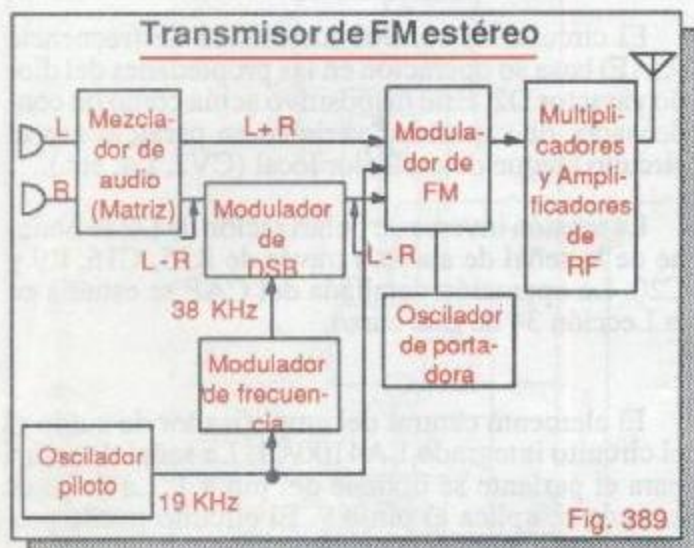


Fig. 389

La señal  $L+R$  modula directamente la portadora de 88 a 108 MHz en el modulador de FM. La señal  $L-R$  modula una subportadora de 38 KHz en un modulador de doble banda lateral (DSB). El modulador de DSB suprime la subportadora de 38 KHz y entrega la señal  $L-R$  modulada al modulador FM.

La subportadora de 38 KHz proviene de un oscilador de 19 KHz seguido de un multiplicador. La señal de 19 KHz modula también la portadora de FM y se utiliza como señal *piloto*. Su propósito es facilitar en el receptor la regeneración de la subportadora de 38 KHz suprimida durante la transmisión.

En la figura 390 se muestra el espectro de audio de la señal FM estéreo obtenida. La señal  $L+R$  se extiende desde 50 Hz hasta 15 KHz y la señal  $L-R$  desde 23 hasta 53 KHz.



Fig. 390

## Actividad práctica N° 16

### Ensamble de la segunda etapa de frecuencia intermedia. (Parte 1)

En esta actividad vamos a instalar en el tablero del radio una parte de los componentes que forman la etapa del segundo amplificador de FI o sea la etapa marcada con color naranja en la lámina del diagrama del radio.

### Componentes necesarios

- 1 Transistor NPN C1390 o su reemplazo, (2N2222 o similar). Q3.
- 1 Resistencia de 15 K $\Omega$ , 1/4 W, 5%, (café, verde, naranja, dorado) R10.

**Nota:** El transistor Q3, C1390 se puede reemplazar por el 2N2222 que tiene la siguiente configuración en sus terminales (figura A42).

**Paso 1:** Tome el transistor Q3 y separe ligeramente sus terminales, fijándose en la figura A42. Si el transistor es 2N2222, suelde sus terminales así: la base (B) en la puntilla E4, el emisor (E) en la puntilla E8 y el colector (C) en la puntilla E7.

**Paso 2:** Instale la resistencia R10 de 15 K $\Omega$  entre las puntillas E6 y D18.

**Paso 3:** Con el alambre de conexión, una las puntillas E10 y 14, dejando unos 3 cms. sobrantes en la puntilla E10 para una conexión posterior. Con el mismo alambre una las puntillas E12 y 40, teniendo en cuenta de no hacer corto con el alambre que va de E7 a E11.

**Paso 4:** Con el alambre de conexión unas las puntillas E8, E9 y E5.

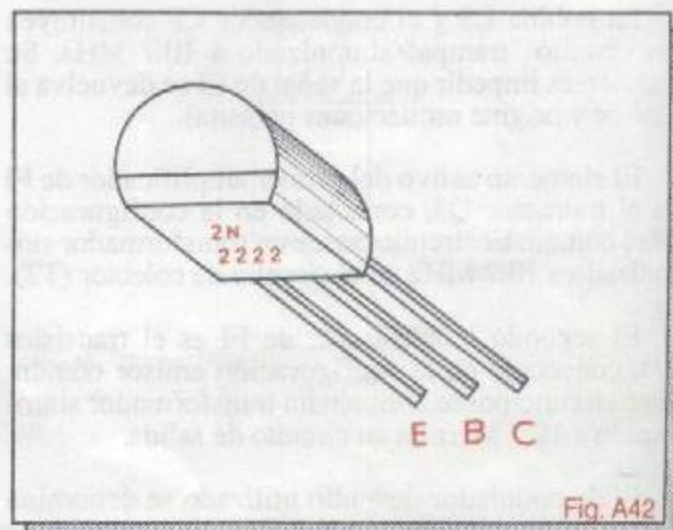


Fig. A42



## Ensamble de la etapa de frecuencia intermedia (Parte 2)

En esta actividad vamos a continuar con la instalación en el tablero del radio de los componentes de la segunda etapa de frecuencia intermedia (FI).

## Componentes necesarios

- 1 Resistencia de 1.5 k $\Omega$ , 1/4 W, 5% (café, verde, rojo, dorado). R9.
- 1 Resistencia de 820 k $\Omega$  (gris, rojo, amarillo, dorado). R8.
- 1 Condensador de cerámica de 0.02  $\mu$ F/50V. C7.
- 1 Condensador de cerámica de 0.02  $\mu$ F/50V. C6.

**Paso 1:** Tome la resistencia de 1.5 k $\Omega$ , marcada en el diagrama como R9 e instálela entre las puntillas E9 y I3.

**Paso 2:** Tome la resistencia de 820 k $\Omega$ , marcada en el diagrama como R8 e instálela entre las puntillas 41 y E3.

**Paso 3:** Con el alambre de conexión, una las puntillas E1 y E4 cuidando de no cortocircuitar el terminal de la resistencia R8. Para mayor seguridad, doble este alambre hacia arriba en el punto de cruce.

**Paso 4:** Con el alambre de conexión, una las puntillas E2 y E3.

**Paso 5:** Tome el condensador C7 de 0.02  $\mu$ F; éste puede estar marcado como 0.02, .02, 203Z ó 223Z. Instálelo entre las puntillas E5 y I2.

**Paso 6:** Tome el condensador C6, igual al anterior de 0.02  $\mu$ F e instálelo entre las puntillas E3 y I1.

**Nota:** Para terminar el ensamble de esta etapa, sólo falta instalar el transformador de FI identificado como T3 y reconocible por su núcleo negro. Este transformador se colocará en una futura actividad.

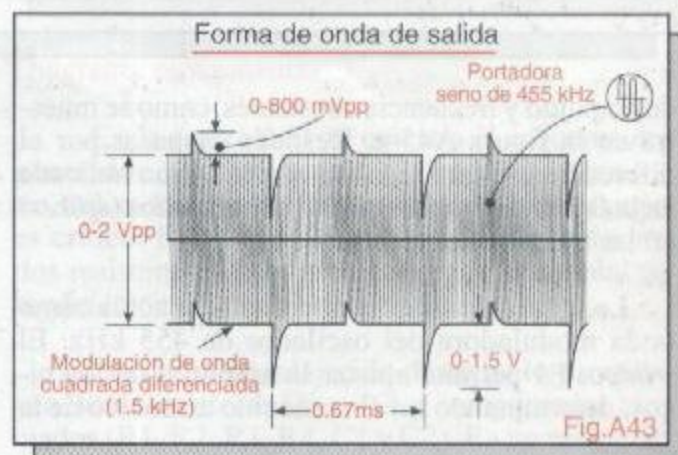
R8 polariza directamente la unión base-emisor de Q3, a través del secundario de T2 (segundo transformador de FI, núcleo blanco). R9 conecta el emisor de Q3 a tierra y estabiliza térmicamente el punto de trabajo de este transistor.

Los condensadores C6 y C7 ofrecen un camino de baja resistencia a tierra para las señales de alta frecuencia presentes en el punto de prueba H y en el emisor de Q3, respectivamente. Estos componentes no afectan la polarización de CC de Q3.

## Ensamble de un generador de FI de 455 kHz con modulación

## Objetivo

El objetivo de esta actividad es construir un sencillo generador de onda seno de 455 kHz controlado a cristal, con modulación de onda cuadrada incluida. En la figura A43 se muestra la forma de onda de la señal de salida obtenida.



El circuito resulta muy útil y necesario para la prueba de las etapas de detección y de FI en receptores de AM domésticos y portátiles. La señal de modulación puede también utilizarse para la prueba de amplificadores de audio.

Este generador lo utilizaremos posteriormente para alinear y ajustar las etapas de FI del radio AM CEKIT que se está ensamblando a lo largo de este curso. Por su bajo costo y fácil realización, es un reemplazo ideal para los generadores de RF utilizados normalmente en esta operación.

Después de utilizarlo en este curso, este generador será una herramienta muy valiosa para su trabajo tanto profesional como de aficionado.

## Teoría de operación

En la figura A44 se muestra el diagrama de bloques del generador de 455 KHz propuesto. El sistema consta básicamente de un oscilador de relajación de 1.5 kHz, una red RC diferenciadora (filtro pasa altos) y un oscilador a cristal tipo Colpitts de 455 kHz con modulación.

El oscilador de relajación (multivibrador astable) suministra una onda cuadrada simétrica,



## Diagrama de bloques

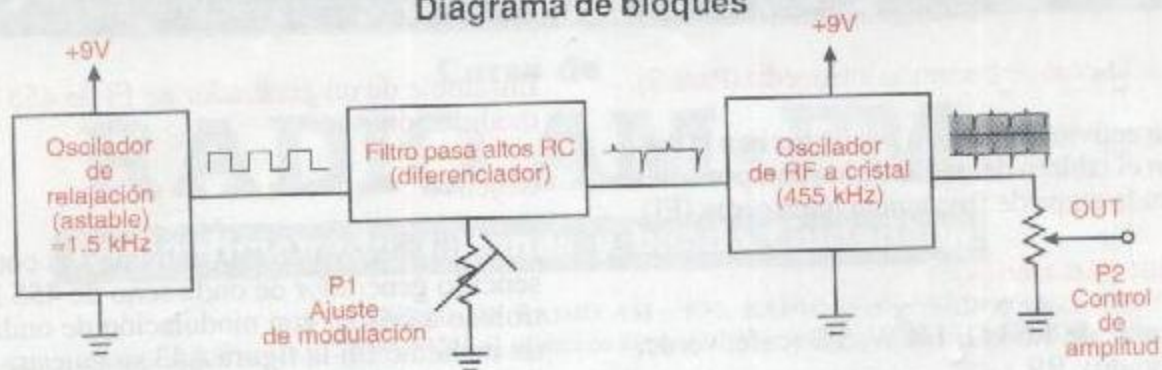


Fig. A44

de amplitud y frecuencia constantes, como se muestra en la figura A45-a. Después de pasar por el diferenciador, esta señal adopta la forma indicada en la figura A45-b, con picos pronunciados (*spikes*) en las transiciones o flancos.

La señal de salida del diferenciador actúa como onda moduladora del oscilador de 455 kHz. El *trimpot* P1 permite ajustar la amplitud de los picos, determinando así el contenido armónico de la

La señal de salida del oscilador de FI se aplica al circuito bajo prueba a través del condensador C7 y el potenciómetro P2. El primero desacopla el nivel de CC de la señal de FI, mientras P2 controla la amplitud de esta señal entre 0 y 6 Vpp.

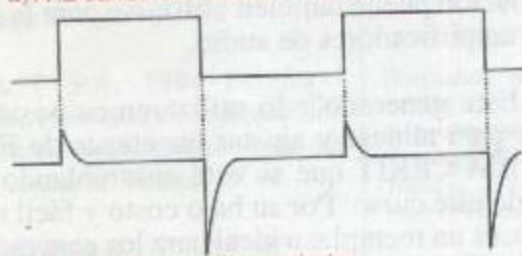
Es importante destacar que la señal de modulación suministrada por el diferenciador al oscilador de FI produce un gran número de bandas laterales alrededor de la frecuencia fundamental de 455 kHz y sus armónicos (910 kHz, 1365 kHz, etc.). Esta circunstancia se muestra en la figura A48.

Tanto la fundamental como sus armónicos (910 kHz, 1365 kHz, etc.) son ondas sinusoidales puras. Asimismo, cada banda lateral producida por la señal de modulación es también una onda sinusoidal pura.

Si lográramos filtrar la portadora de 455 kHz y su primer par de bandas laterales, obtendríamos una forma de onda como la que se muestra en la figura A49. Esta situación corresponde al clásico ejemplo de modulación de una señal sinusoidal de alta frecuencia (portadora) mediante un tono, también sinusoidal, de baja frecuencia (moduladora).

### Señal de modulación

a) A la salida del oscilador de relajación



b) A la salida del diferenciador

Fig. A45

señal de audio y la profundidad de la modulación.

Sin señal de entrada (P1 en la posición mínima), el oscilador de FI produce una forma de onda prácticamente sinusoidal, como la que se muestra en la figura A46. La frecuencia de la señal de FI (455 kHz) la determina un cristal cerámico.

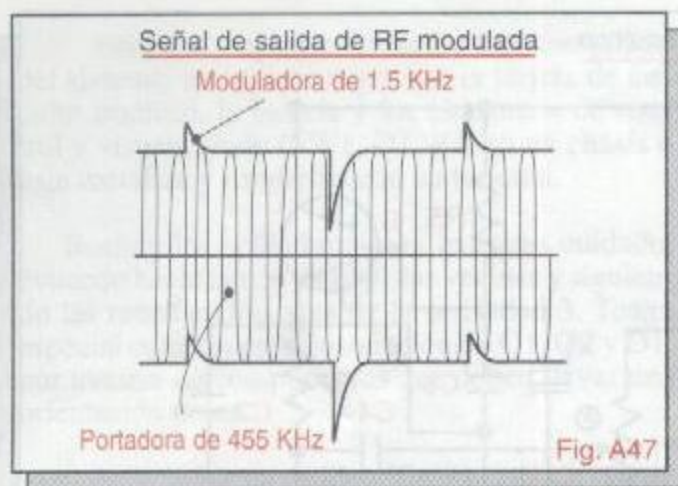
Con señal de entrada (P1 al máximo o en una posición intermedia), el oscilador de FI produce una forma de onda como la que se muestra en la figura A47. Se trata, fundamentalmente, de una portadora sinusoidal de 455 kHz modulada en amplitud por la onda diferenciada.

### Señal portadora de 455 kHz



Fig. A46

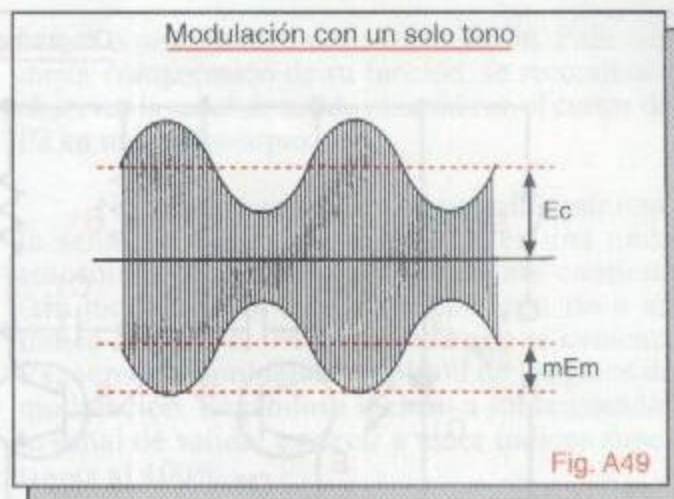




Para obtener una señal como la de la figura A49 se necesita disponer de un filtro muy selectivo y, por consiguiente, costoso. Sin embargo, esto no es absolutamente necesario en nuestro caso, puesto que la portadora es una onda sinusoidal y los circuitos de FI del receptor son lo bastante selectivos para lograr un tono casi sinusoidal a la salida del detector.

En realidad, la señal que se observa a la salida del detector es algo más compleja de lo que la explicación precedente sugiere. En la figura A50 se presentan algunos ejemplos de señales obtenidas a la salida del detector de audio del radio AM CEKIT para distintas formas de onda de la señal de prueba. Se supone que está última se aplica al primario del primer transformador de FI (T1).

Una vez familiarizados con los principios de operación del circuito, vamos ahora a proceder a su construcción y calibración. A continuación se suministran el diagrama esquemático, el circuito impreso, la guía de localización de componentes y la lista de materiales. La forma de utilizar este instrumento en la calibración de las etapas de FI del radio AM CEKIT y otras aplicaciones se tratará en futuras actividades.

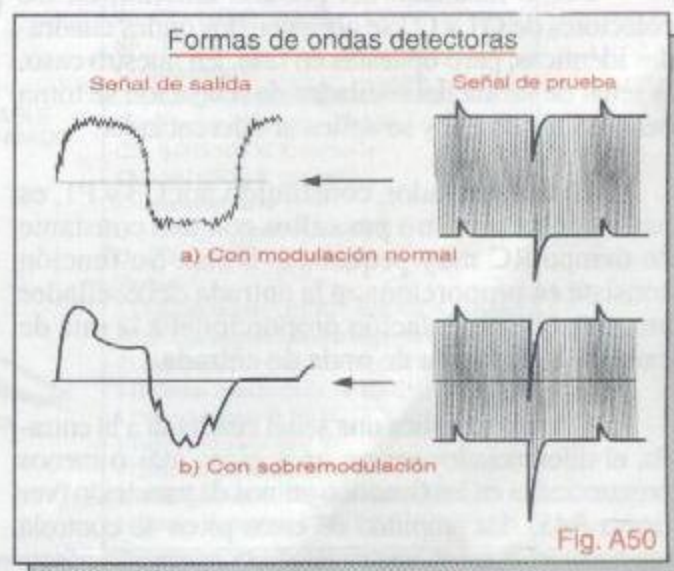


### Diagrama esquemático

En la figura A51 se muestra el esquema del generador de FI propuesto. Todos los componentes utilizados son de fácil consecución y ninguno es crítico. El *trimpot* P1 puede ser sustituido por dos resistencias fijas para conseguir una señal de modulación de características tonales fijas.

El oscilador de relajación de audio lo constituyen los transistores Q1 y Q2, y componentes asociados (R1, R2, R3, R4, C1 y C2). En un momento dado, uno de los transistores se encuentra en estado de saturación (conduciendo), mientras el otro permanece en estado de corte (bloqueado).

Asumiendo que Q1 está bloqueado, su voltaje de colector es igual al voltaje de alimentación (+9 V). Puesto que Q2 está conduciendo, su voltaje de colector es muy bajo, del orden de 0.1 V. Esto permite que el condensador C1 se cargue a través de la resistencia R1 y tienda a alcanzar el voltaje de la fuente (9 V).









Para una mejor presentación y conservación del sistema, se sugiere organizar la tarjeta de circuito impreso, la batería y los elementos de control y visualización (SW1, D1, P2) en un chasis o caja metálica y rotularlos con su función.

Realice las soldaduras con extremo cuidado, evitando hacer cortos entre pistas vecinas y siguiendo las recomendaciones de la actividad 3. Tenga especial cuidado en la instalación de Q1, Q2 y D1, por tratarse de componentes que deben llevar una orientación única.

Note la forma de identificar el cátodo (C) de D1 y los terminales correspondientes a la base (B), el colector (C) y el emisor (E) de Q1 y Q2. Al soldar X1, tenga la precaución de no calentar sus terminales más allá de lo absolutamente necesario porque puede destruirlo.

### Calibración y prueba

El generador de FI prácticamente no requiere de calibración puesto que la frecuencia de la portadora de FI (455 kHz) la determina el cristal X1 y las características de la señal de modulación están predefinidas en el diseño del oscilador de relajación. Eventualmente, el único ajuste requerido es el del reóstato P1.

Este elemento controla la amplitud de la señal de audio aplicada al oscilador y determina el

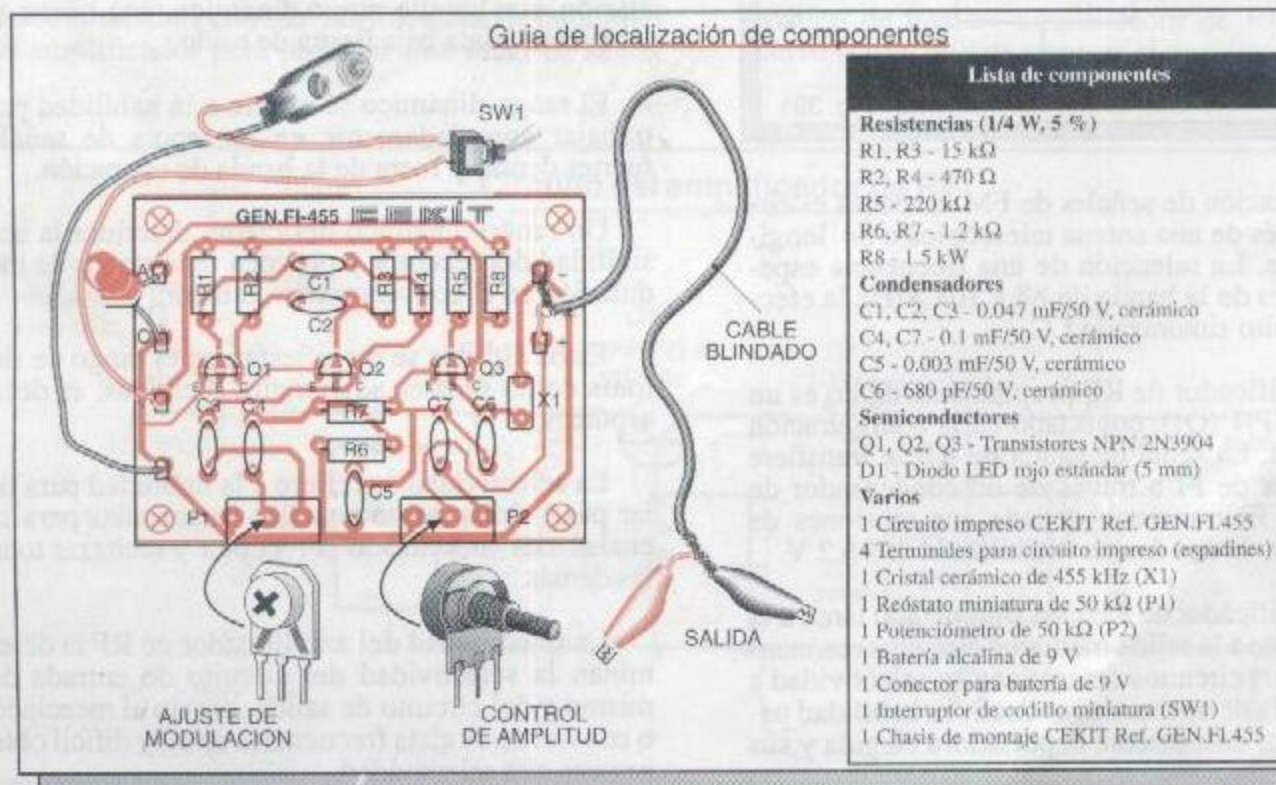
índice o profundidad de la modulación. Para una mejor comprensión de su función, se recomienda observar la señal de salida obtenida en el cursor de P2 en un osciloscopio.

Notará que con P1 en su posición mínima, la señal de salida del generador es una onda sinusoidal de 455 kHz prácticamente continua (sin modulación). Este caso corresponde a un índice cercano al 0%. A medida que se aumenta P1, aumenta también la amplitud de los picos de modulación, llegando incluso a sobremodular la señal de salida, es decir a tener índices superiores al 100%.

Efectué la prueba del generador en un receptor de AM en buen estado. Aíse el conversor de RF e inyecte la señal modulada de 455 kHz a la entrada de la primera etapa de FI. Como punto de partida, sitúe P1 y P2 en sus posiciones intermedias.

Si la señal de prueba ha sido correctamente aplicada, en el parlante del receptor debe escucharse un sonido característico. Notará que la intensidad y riqueza tonal de este sonido varían con el punto de ajuste de P1 y P2.

Lo anterior indica que las etapas de FI, el detector y el amplificador de audio están trabajando correctamente. Si lo desea, puede realizar el seguimiento de la señal de prueba a través de las distintas etapas mediante un osciloscopio.



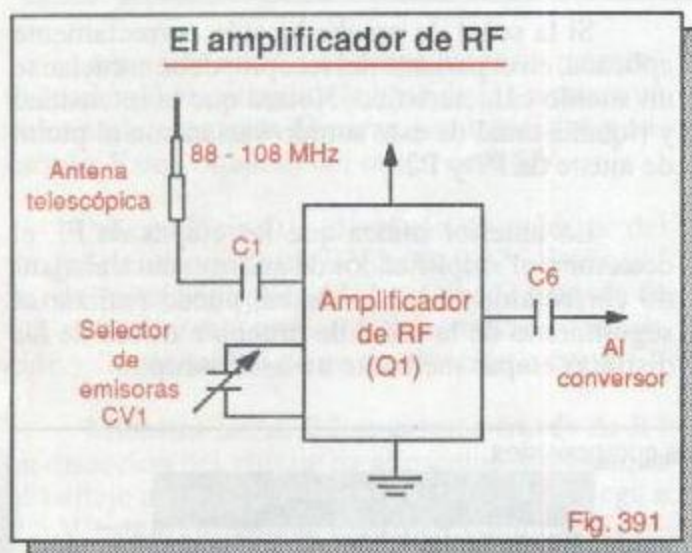


## El amplificador de RF

### Introducción

En esta lección estudiaremos diversos aspectos relacionados con el amplificador de RF del radio FM experimental CEKIT. Este circuito es la etapa de entrada del receptor y la que determina su figura de ruido.

La función del amplificador de RF consiste en captar las señales de FM transmitidas en la banda de 88 a 108 MHz, seleccionar una en particular y suministrarla amplificada al convertor de FI con el mínimo de ruido. En la figura 391 se muestra el diagrama de bloques correspondiente.



La captación de señales de FM la realiza el circuito a través de una antena telescópica o de longitud variable. La selección de una frecuencia específica dentro de la banda de 88 a 108 MHz la efectúa un circuito sintonizado LC.

El amplificador de RF propiamente dicho es un transistor NPN (Q1), conectado en la configuración base común. La señal de salida de RF se transfiere al convertor de FI a través de un condensador de paso (C6). El transistor obtiene sus tensiones de polarización de una fuente estabilizada de +6.2 V.

El amplificador de RF está sintonizado tanto a la entrada como a la salida mediante circuitos resonantes LC. Estos circuitos determinan su selectividad a la frecuencia de operación, es decir, su habilidad para amplificar únicamente la portadora elegida y sus bandas laterales.

Antes de comenzar la descripción detallada del amplificador de RF de nuestro receptor es conveniente conocer las características y requisitos de diseño más importantes que debe reunir un amplificador de RF de FM para ser eficiente y no degradar la operación general del sistema.

El conocimiento de estos parámetros nos permitirá analizar y comprender hasta qué punto influye el amplificador de RF en el funcionamiento general del receptor y evaluar posibles fallas.

Después de todo, el amplificador de RF es la etapa por donde entra la señal de FM que queremos escuchar limpia y clara en el parlante.

De nada nos sirve disponer de un amplificador de audio sofisticado o de un demodulador impecable si la señal de entrada ha sido procesada con ruido, está distorsionada o tiene interferencia. Todos estos defectos dependen, en gran parte, del diseño del amplificador de RF.

### Consideraciones de diseño de amplificadores de RF para FM

Las principales consideraciones de diseño que debe tener el amplificador de RF de un receptor de FM, tanto de radiodifusión comercial como de radioafición, son un alto rango dinámico, una buena selectividad y una baja figura de ruido.

El rango dinámico se refiere a la habilidad para trabajar apropiadamente en presencia de señales fuertes dentro y fuera de la banda de operación.

Un rango dinámico deficiente deteriora la sensibilidad del receptor y provoca fenómenos de modulación en el convertor o mezclador.

Estos últimos se manifiestan en el rango de sintonía como señales adicionales recibidas, es decir, espúreas.

La selectividad se refiere a la habilidad para dejar pasar únicamente aquellas frecuencias para las cuales está sintonizado el receptor y rechazar todas las demás.

La selectividad del amplificador de RF la determinan la selectividad del circuito de entrada del mismo y del circuito de salida, previo al mezclador o convertor. A altas frecuencias es muy difícil obtener una alta selectividad.



Además de restringir el paso de señales por fuera de la banda de sintonía, los circuitos de entrada y de salida del amplificador de RF deben rechazar también frecuencias imágenes, es decir, señales de interferencia dentro de la misma banda.

La selectividad general del receptor depende no solamente de la selectividad del amplificador de RF sino también de la selectividad del mezclador, de los amplificadores de FI y de las etapas de audio.

La figura de ruido se refiere a la habilidad para captar señales relativamente débiles y producir una señal de salida con un bajo nivel de ruido. La figura de ruido está estrechamente relacionada con la sensibilidad. Entre más baja sea la figura de ruido, más sensible es un receptor.

El ruido generado dentro del amplificador de RF debe ser lo suficientemente bajo como para no enmascarar o degradar las señales débiles provenientes de la antena. La figura de ruido se minimiza utilizando dispositivos de bajo ruido como amplificadores de RF.

En general, los transistores de efecto de campo (FETs y MOSFETs) exhiben más bajas figuras de ruido que los transistores bipolares, bajo las mismas condiciones de operación.

Otras consideraciones de diseño importantes de un amplificador de RF para FM son su ganancia y su linealidad.

La ganancia es la cantidad de amplificación que recibe la señal de entrada y la linealidad la habilidad del amplificador para producir una señal de salida

sin distorsión. Naturalmente, la señal de salida debe ser, en lo posible, una réplica exacta de la señal de entrada.

Como regla general, un amplificador de RF no debe tener más ganancia de la necesaria para obtener una aceptable figura de ruido. Más ganancia de la necesaria degradaría marcadamente el rango dinámico del receptor. Sin embargo, entre más alta sea la ganancia, más alta será la sensibilidad.

En algunos receptores de FM, el amplificador de RF está sometido a la acción de un circuito de control automático de ganancia (CAG). En algunos casos, esto es necesario pero no es conveniente. En realidad, un receptor bien diseñado no debe tener CAG en el amplificador de RF.

La aplicación de un voltaje de CAG al amplificador de RF degrada su figura de ruido y su rango dinámico. Esto se debe a que el voltaje de CAG altera las características de polarización del amplificador y cambia su punto de trabajo, no permitiendo que opere linealmente, en clase A.

Una vez enterados de estos conceptos, procederemos al análisis del amplificador de RF de nuestro receptor FM. Comenzaremos describiendo su diagrama esquemático, su operación tanto en presencia como en ausencia de señal y las funciones de cada uno de sus componentes.

### Operación del amplificador de RF

En la figura 392 se muestra el diagrama esquemático de nuestro amplificador de RF. El dispositivo activo de esta etapa es el transistor Q1, conec-

**Circuito del amplificador de RF**

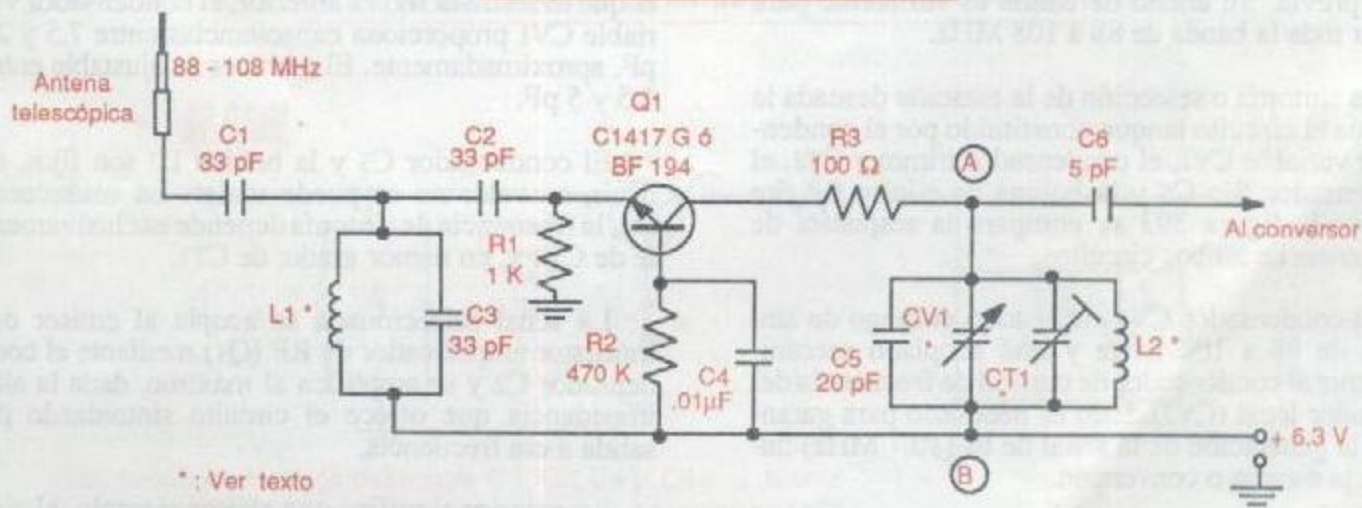


Fig. 392



tado como amplificador de voltaje base común. Esta configuración proporciona una operación con bajo ruido y un buen rango dinámico.

Note que el amplificador de RF está sintonizado tanto a la entrada como a la salida mediante circuitos resonantes LC. Esta doble sintonía le confiere una alta selectividad y un buen rechazo a las frecuencias imagen.

En radiodifusión FM la frecuencia imagen es la frecuencia ubicada 21.4 MHz por encima de la frecuencia sintonizada. Por ejemplo, la frecuencia imagen de 88.5 MHz es  $88.5 + 21.4 = 109.9$  MHz.

Si esta última señal lograra pasar al conversor, a través del amplificador de RF, produciría también una frecuencia intermedia de 10.7 MHz y las dos emisoras (la de 88.5 MHz y la de 109.9 MHz) se escucharían simultáneamente en el parlante.

El concepto de frecuencia imagen se explica en la Lección 26 de este curso para el caso de AM y se ampliará en la Lección 31, cuando estudiemos el conversor de FM.

Después de estas consideraciones generales, veamos cómo opera en detalle el amplificador de RF de nuestro receptor de FM.

A la antena telescópica convergen señales de todo tipo. El circuito resonante conformado por la bobina L1 y el condensador C3 presenta una alta impedancia a las señales de la banda de FM (88 a 108 MHz) y una baja impedancia a las señales por fuera de esta banda.

Las señales de FM se transfieren de la antena al circuito tanque L1C3 a través del condensador de paso C1. Este circuito no es el que realiza la sintonía. El solamente se encarga de realizar una selección previa. Su ancho de banda es suficiente para cubrir toda la banda de 88 a 108 MHz.

La sintonía o selección de la estación deseada la efectúa el circuito tanque constituido por el condensador variable CV1, el condensador trimmer CT1, el condensador fijo C5 y la bobina de núcleo de aire L2. En la figura 393 se compara la respuesta de frecuencia de ambos circuitos.

El condensador CV1 cubre todo el rango de sintonía de 88 a 108 MHz y está acoplado mecánicamente al condensador de control de frecuencia del oscilador local (CV2). Esto es necesario para garantizar la generación de la señal de FI (10.7 MHz) durante la mezcla o conversión.

El condensador CT1, de compensación o trimmer, está incorporado en la misma unidad que con-

## Curvas de respuesta de frecuencia

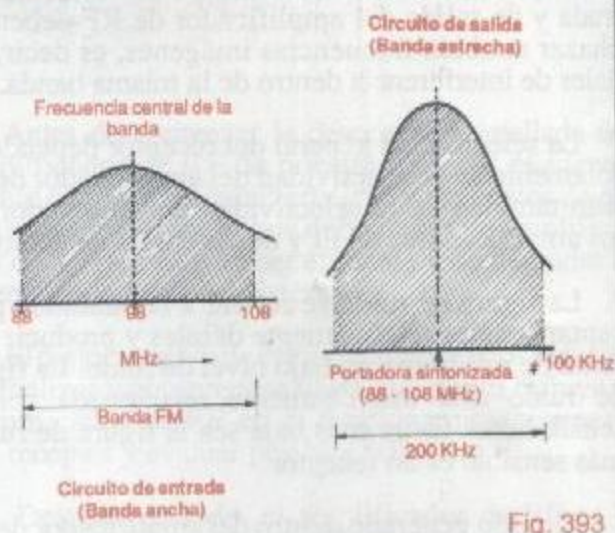
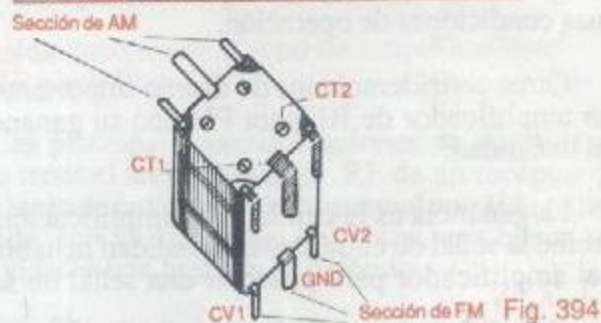


Fig. 393

tiene a CV1, pero independiente de este último (figura 394). Se utiliza para realizar ajustes finos de sintonía, especialmente en los extremos de la banda.

## Condensador de sintonía típico de FM



En una unidad de sintonía típica para FM como la que muestra la figura anterior, el condensador variable CV1 proporciona capacitancias entre 7.5 y 20 pF, aproximadamente. El trimmer es ajustable entre 1.5 y 5 pF.

El condensador C5 y la bobina L2 son fijos, es decir, su valor no se puede variar. En consecuencia, la frecuencia de sintonía depende exclusivamente de CV1 y, en menor grado, de CT1.

La señal seleccionada se acopla al emisor del transistor amplificador de RF (Q1) mediante el condensador C2 y se amplifica al máximo, dada la alta impedancia que ofrece el circuito sintonizado de salida a esa frecuencia.

Lo anterior significa que si, por ejemplo, el circuito tanque de salida está sintonizado a 88.5 MHz, sólo la señal de entrada correspondiente a esta fre-



cuencia recibirá amplificación y pasará a la etapa siguiente. Las demás señales sufrirán atenuación y, en consecuencia, serán ignoradas.

El transistor Q1 utilizado como amplificador de RF (C1417G o BF194) trabaja bien a altas frecuencias y tiene una baja figura de ruido. Esto último es importante para conseguir la característica de operación con bajo ruido que se espera de la etapa.

El transistor Q1 incrementa el nivel de la señal procedente de la antena antes de que alcance el conversor. La cantidad de amplificación la determinan los componentes asociados y puede variar de unos pocos a varios dBs (decibelios). Una amplificación excesiva afecta el rango dinámico.

Una vez que la señal de RF elegida se amplifica, ingresa al conversor, donde se heterodina o mezcla con la señal del oscilador local para establecer la señal de frecuencia intermedia (10.7MHz).

La señal de salida del amplificador de RF se transfiere al conversor a través del condensador C6. Esta señal aparece en los extremos del circuito de sintonía, es decir, entre los puntos "A" y "B" o, lo que es lo mismo, entre el punto "A" y tierra.

Recuerde que la fuente de alimentación es un corto para la señal. En consecuencia, el punto "B", que corresponde a la línea de alimentación de +6.2 V, está conectado dinámicamente a tierra, desde el punto de vista de la señal de RF.

El condensador C4 conecta dinámicamente a tierra la base de Q1 en presencia de la señal de RF. De este modo, la señal de entrada queda aplicada efectivamente entre emisor y tierra.

En la figura 395 se resume el comportamiento del circuito en condiciones dinámicas, es decir, en presencia de señal.

Se ignoran los condensadores C1, C2, C4 y C6 porque su reactancia capacitiva ( $X_C$ ) es despreciable a las frecuencias de operación del circuito, como se comprueba en el ejemplo 1.

Las resistencias R1, R2 y R3 polarizan adecuadamente el transistor Q1, es decir, fijan su punto de trabajo. El amplificador debe operar en clase A, en la región lineal de su característica, con el fin de no distorsionar la señal de entrada y producir una señal de salida fiel.

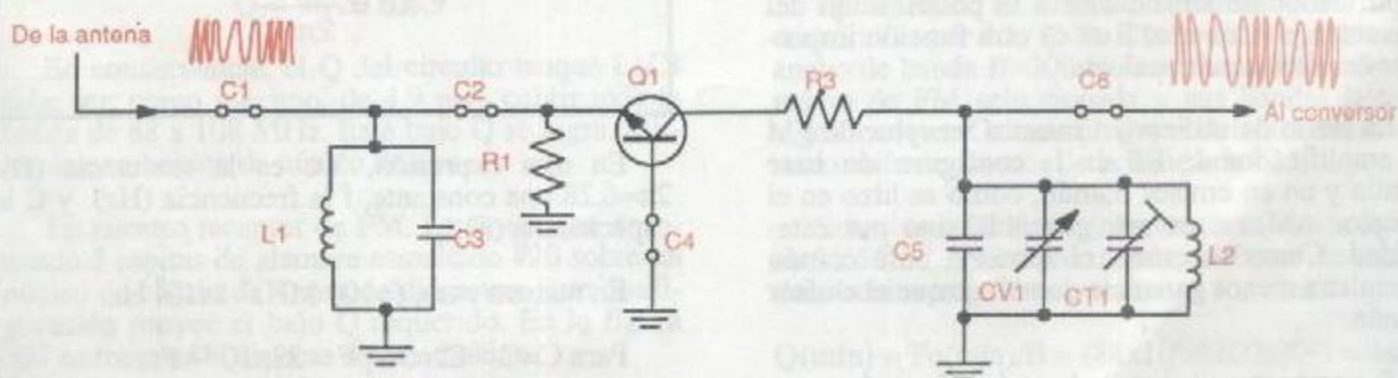
En general, los amplificadores de RF, al igual que los amplificadores de audio, necesitan estar correctamente polarizados para garantizar una operación confiable. Las tensiones de polarización, en este caso, se obtienen de la fuente de +6.2V.

La resistencia R2 polariza directamente la unión base-emisor de Q1. La corriente de reposo o de polarización de la base ( $I_{BQ}$ ) la extrae el circuito del positivo de la fuente, a través de R2.

La resistencia R3 polariza inversamente la unión base-colector de Q1. La corriente de polarización o de reposo del colector ( $I_{CQ}$ ) la extrae el circuito del positivo de la fuente a través de R3 y la resistencia interna de la bobina L2. Para efectos prácticos, esta última es despreciable ( $0\Omega$ ).

La resistencia R1 estabiliza térmicamente el punto de trabajo de Q1, evitando que las corrientes de reposo de la base ( $I_{BQ}$ ) y del colector ( $I_{CQ}$ ) varíen con la temperatura.

### Circuito equivalente dinámico del amplificador de RF



" Los condensadores de desacople C1, C2, C4 y C6 y la fuente de alimentación de CC son cortocircuitos para las fuentes de RF "

Fig. 395



## Circuito equivalente estático del amplificador de RF

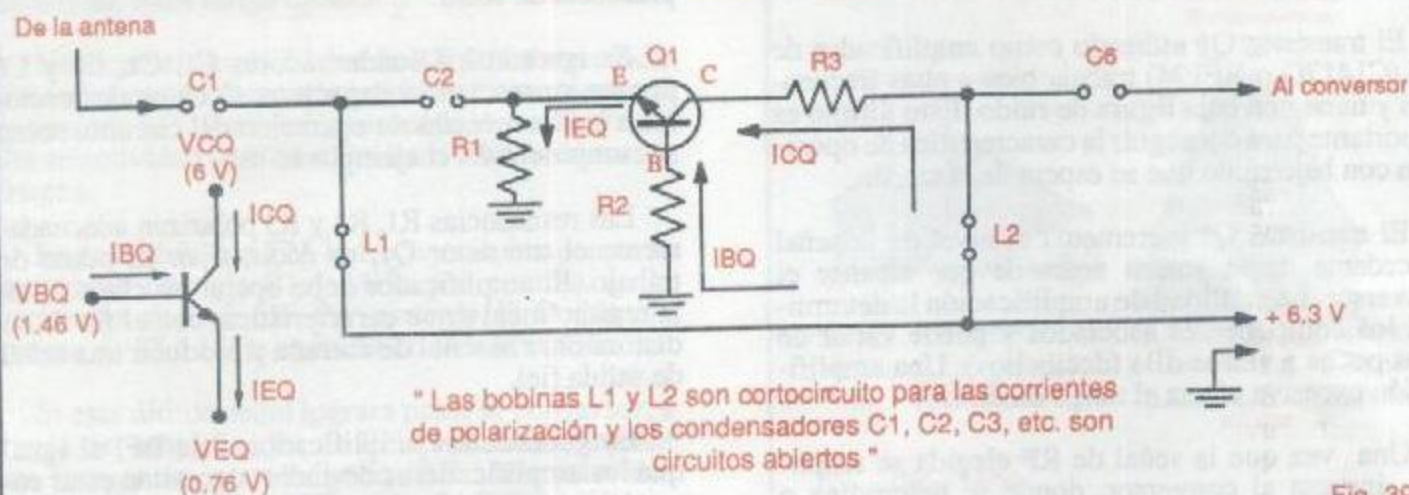


Fig. 396

En la figura 396 se resume el comportamiento del circuito en condiciones de polarización, de reposo o de CC, es decir, en ausencia de señal. También se indican los valores típicos de voltaje obtenidos entre base, emisor y colector, con respecto a tierra.

Observe que en la figura 396 se ignoran los efectos de todos los condensadores y de todas las bobinas presentes en el circuito original. Sólo se incluyen los efectos de las resistencias y de la fuente de alimentación. Las razones de esto se pueden resumir en los siguientes términos:

Los condensadores presentan una alta oposición o resistencia al paso de la CC y, en consecuencia, se comportan como circuitos abiertos. Las bobinas presentan una muy baja resistencia y, por lo tanto, se comportan como cortocircuitos.

Resulta entonces claro que C2 bloquea el nivel de CC de la señal de entrada y C6 el nivel de CC de la señal de salida. Por lo tanto, la polarización del amplificador de RF no afecta la polarización del conversor y viceversa. Esta es otra función importante de estos condensadores.

La razón de utilizar en nuestro receptor de FM un amplificador de RF en la configuración base común y no en emisor común, como se hizo en el receptor AM, no es por ganancia sino por estabilidad. Como sabemos, el montaje base común suministra menos ganancia de voltaje que el emisor común.

Sin embargo, el circuito base común está menos sujeto a autooscilaciones. Recordemos que entre más alta es la frecuencia de operación, más alta es la probabilidad de que un amplificador oscile.

En AM trabajábamos con frecuencias entre 530 y 1600 KHz. Ahora estamos trabajando con frecuencias entre 88 y 108 MHz. Por lo tanto, los riesgos de inestabilidad son mayores. Por este motivo, deben prevenirse y la solución más obvia es adoptar una configuración amplificadora estable.

Después de esta descripción cualitativa de la operación del amplificador de RF, vamos a presentar algunos ejemplos numéricos sencillos, los cuales nos permitirán analizar cuantitativamente estos y otros aspectos de su comportamiento.

**Ejemplo 1.** Calcule la reactancia capacitiva  $X_C$  de los condensadores C1, C2, C4 y C6 a una frecuencia de portadora de 100 MHz.

**Solución.** Tal como vimos en la Lección 7 (página 74), la reactancia capacitiva  $X_C$  de un condensador está dada por la fórmula:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

En esta expresión,  $X_C$  es la reactancia ( $\Omega$ ),  $2\pi=6.28$  una constante,  $f$  la frecuencia (Hz) y  $C$  la capacitancia (F).

En nuestro caso,  $f=100 \text{ MHz}=1 \times 10^8 \text{ Hz}$ .

Para  $C=C_1=C_2=33 \text{ pF}=33 \times 10^{-12} \text{ F}$ :

$X_{C1,2} = 1/(6.28 \times 1 \times 10^8 \times 33 \times 10^{-12}) = 48 \Omega$

Para  $C=C_4=0.01 \text{ }\mu\text{F}=1 \times 10^{-8} \text{ F}$ :



$$XC4 = 1/(6.28 \times 1 \times 10^8 \times 1 \times 10^{-8}) = 0.16 \Omega$$

Para  $C=C6=5 \text{ pF}=5 \times 10^{-12} \text{ F}$ :

$$XC5 = 1/(6.28 \times 1 \times 10^8 \times 5 \times 10^{-12}) = 318 \Omega$$

Estos bajos valores de reactancia indican que los condensadores C1, C2, C4 y C5 prácticamente no presentan oposición al paso de la señal. Por esta razón se ignoran en el circuito equivalente de señal de la figura 395.

**Ejemplo 2.** El circuito sintonizado L1C3 debe tener un ancho de banda suficiente para cubrir el rango de 88 a 108 MHz. La frecuencia central de esta banda es 98 MHz. Calcule el Q o factor de calidad de este circuito y el valor de L1 para esta frecuencia. Suponga una resistencia interna de  $10 \Omega$ .

**Solución.** Como vimos en la Lección 24 (página 180), el ancho de banda de un circuito sintonizado LC está dado por la fórmula:

$$B = \frac{F_o}{Q}$$

En esta expresión, B es el ancho de banda (Hz),  $F_o$  es la frecuencia central o de resonancia de la banda (Hz) y Q el factor de calidad del circuito. Por lo tanto:

$$Q = \frac{F_o}{B}$$

En nuestro caso,  $F_o=98 \text{ MHz}$  y  $B=108-88 = 20 \text{ MHz}$ . Por consiguiente, el factor de calidad del circuito sintonizado L1C3 de entrada es:

$$Q = 98/20 = 4.9$$

En consecuencia, el Q del circuito tanque L1C3 debe ser, como máximo, de 4.9 para cubrir toda la banda de 88 a 108 MHz. Este bajo Q se logra utilizando una bobina de núcleo de aire.

En nuestro receptor de FM, L1 se obtiene devanando 5 espiras de alambre esmaltado #20 sobre un núcleo de cartón de 4 mm de diámetro. Esta configuración provee el bajo Q requerido. En la figura 397 se muestra el aspecto de esta bobina.

Como vimos en la Lección 24 (página 180), el Q o factor de calidad de un circuito sintonizado LC está dado por la fórmula:

### Especificaciones de la bobina L1

Especificaciones	Valor
Diámetro del núcleo (D)	4 mm
Número de espiras (N)	5
Calibre del alambre	# 20
Diámetro del alambre ( $\phi$ )	1.2 mm
Longitud devanado (S)	7 mm
Inductancia (L)	0.08 $\mu\text{H}$
Q a 98 MHz ( $Q_o$ )	5



$$Q = \frac{X_L}{R_s} = \frac{2\pi F_o L}{R_s}$$

En esta expresión,  $2\pi=6.28$ , Q es el factor de calidad,  $X_L$  la reactancia inductiva ( $\Omega$ ) de la bobina,  $R_s$  su resistencia interna ( $\Omega$ ), L su inductancia (H) y  $F_o$  la frecuencia central o de resonancia de la banda (Hz). Por lo tanto:

$$L = \frac{Q R_s}{2\pi F_o}$$

En nuestro caso,  $Q=4.9$ ,  $R_s=10 \Omega$ ,  $2\pi=6.28$  y  $F_o=98 \text{ MHz}=98 \times 10^6 \text{ Hz}$ . Por consiguiente:

$$L = (4.9 \times 10)/(6.28 \times 98 \times 10^6) = 0.08 \mu\text{H}$$

Este debe ser el valor de inductancia de L1 necesario para proporcionar una frecuencia central de resonancia de 98 MHz y un Q de 4.9 a esa frecuencia.

**Ejemplo 3.** El circuito sintonizado de salida, constituido por L2, CV1, CT1 y C5, debe tener un ancho de banda  $B=200 \text{ KHz}$  para amplificar la portadora de FM seleccionada y sus bandas laterales significativas. Calcule el Q que debe tener este circuito en los extremos de la banda de FM.

**Solución.** El límite inferior de la banda de FM es 88 MHz. A esta frecuencia, el factor de calidad del circuito es mínimo y vale:

$$Q(\text{mín}) = F_o(\text{mín})/B = (88 \times 10^6)/(200 \times 10^3) = 440$$

El límite superior de la banda de FM es 108 MHz. A esta frecuencia, el factor de calidad del circuito es máximo y vale:



$$Q(\text{máx}) = F_o(\text{máx})/B = (108 \times 10^6)/(200 \times 10^3) = 540$$

En consecuencia, el Q del circuito sintonizado L2C debe estar entre 440 y 540 para proveer una alta selectividad de la portadora y sus bandas laterales, a todo lo largo de la banda de FM (88 a 108 MHz). Este alto Q se logra utilizando una bobina de muy baja resistencia interna, es decir, sin pérdidas.

En nuestro receptor de FM, L2 se obtiene devanando 4 espiras de alambre esmaltado #20 sobre un núcleo aislante (aire) de 4 mm de diámetro. Esta configuración provee el alto Q requerido. En la figura 398 se muestra el aspecto de esta bobina.

### Especificaciones de la bobina L2

Especificaciones	Valor
Diámetro del núcleo (D)	4 mm
Número de espiras (N)	4 mm
Calibre del alambre	# 20
Diámetro del alambre (σ)	1.2 mm
Longitud devanado (S)	5 mm
Inductancia (L)	.07 μH
Q a 98 MHz (Qo)	540

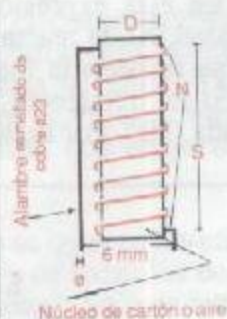


Fig. 398

### Antenas para recepción de FM

La longitud de la antena es una consideración importante y debe estar de acuerdo con la frecuencia de la emisora que se desea sintonizar. Teóricamente, la longitud de la antena debe ser igual a la mitad de la longitud de onda de la portadora.

El concepto de longitud de onda se explica en la Introducción de este curso. Una señal de 100 MHz, por ejemplo, tiene una longitud de onda de 3 metros. Para sintonizar eficientemente una emisora que transmite con esta frecuencia, la antena de recepción deberá tener 1.5 metros, es decir,  $\lambda/2$ .

Para una de 88 MHz, se necesitaría una antena de 1.7 m, para una de 108 MHz se necesitaría una antena de 1.4 m, y así sucesivamente. Por esta razón, para cubrir toda la banda de FM, el receptor utiliza una antena telescópica, es decir, de longitud variable (figura 399A).

La longitud de  $\lambda/2$  se denomina longitud eléctrica. La longitud física de antena requerida es realmente la mitad de este valor, a sea  $\lambda/4$ . Esto se debe

### Antenas de recepción de FM prácticas

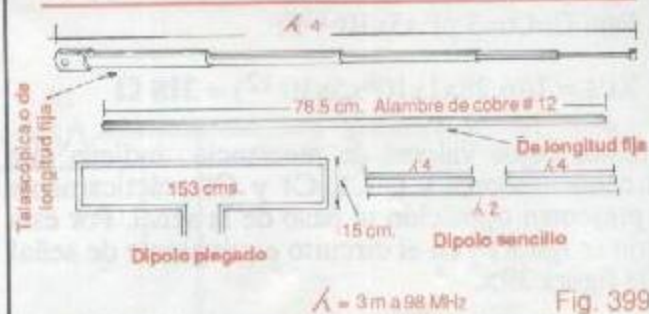
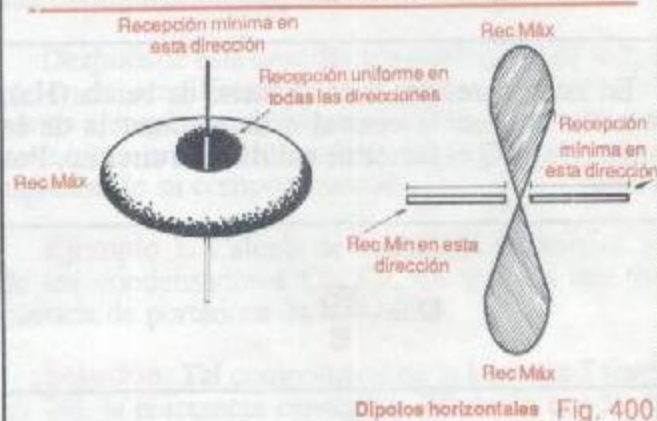


Fig. 399

a que el sistema de tierra de la antena crea eléctricamente la antena imagen, es decir, el otro tramo de  $\lambda/4$  faltante.

Este tipo de antena se denomina antena vertical de  $\lambda/4$  y es muy utilizado. Una antena de este tipo capta igualmente señales en todas las direcciones, excepto a lo largo de su eje (figura 400A). Se dice, entonces, que tiene polarización vertical.

### Características de recepción de las antenas de FM



Dipolos horizontales Fig. 400

Si no se dispone de una antena telescópica, puede utilizarse un alambre de longitud fija, cortado para 98 MHz, es decir, para la frecuencia central de la banda de FM. En este caso, la longitud de onda es de 3.06 m. Por lo tanto, el alambre de antena deberá ser de 76.5 cm ( $\lambda/4$ ) de largo (figura 399B).

Otra alternativa al uso de una antena vertical telescópica o fija es emplear un dipolo de  $\lambda/2$ , simple o plegado (figuras 399C y D). Un dipolo de  $\lambda/2$  está formado por dos secciones horizontales de alambre de longitud igual a  $\lambda/4$  cada uno.

Los dipolos tienen un patrón de recepción como el que muestra la figura 400B. La recepción es mínima en la misma dirección del eje de la antena y máxima en la dirección perpendicular al mismo. Por esta razón deben orientarse apropiadamente.

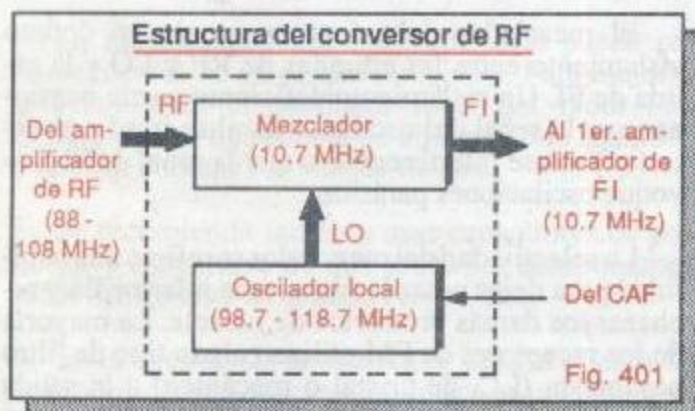


# El conversor de FI

## Introducción

Continuando con el análisis del receptor experimental de FM CEKIT, en esta lección estudiaremos el conversor de FI o mezclador. Esta etapa es el circuito previo a los amplificadores de FI y el que determina el rango dinámico del receptor.

El conversor de FI lo constituyen dos circuitos: un oscilador local y el mezclador propiamente dicho (figura 401). Su función consiste en mezclar o heterodinar la señal suministrada por el oscilador local con la señal de entrada de RF y producir una señal de frecuencia intermedia (FI) de 10.7 MHz.

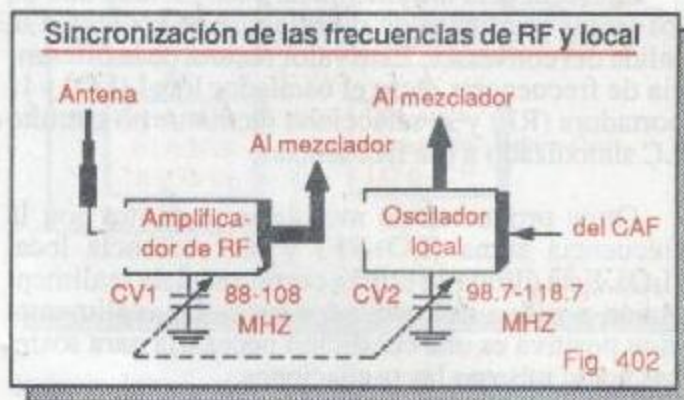


El oscilador local produce una onda sinusoidal pura, de amplitud fija y frecuencia variable. La frecuencia del oscilador local depende de la frecuencia de la señal suministrada por el amplificador de RF y está siempre 10.7 MHz por encima del valor de portadora de esta última.

Por ejemplo, si se sintoniza una señal de RF de 98 MHz, la frecuencia del oscilador local deberá ser de  $98 + 10.7 = 108.7$  MHz, si se sintoniza una frecuencia de 93 MHz, el oscilador deberá trabajar a  $93 + 10.7 = 103.7$  MHz, y así sucesivamente.

En consecuencia, para cubrir toda la banda de FM (88 a 108 MHz), la frecuencia del oscilador local debe variar continuamente entre 98.7 y 118.7 MHz y estar sincronizada con la frecuencia de la portadora captada.

Para lograr este sincronismo, la frecuencia del oscilador local la controla un condensador variable acoplado mecánicamente al condensador de sintonía del amplificador de RF (figura 402).

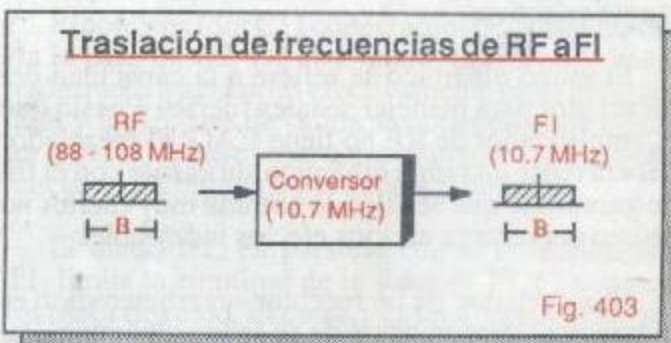


El condensador CV1 controla la frecuencia de resonancia del circuito de sintonía del amplificador de RF y CV2 la del circuito determinador de frecuencia del oscilador local. De este modo, al variar la primera, lo hace también la segunda, en la misma cantidad y en la misma dirección.

La operación de mezcla la realiza un transistor bipolar (Q1), conectado como un amplificador no lineal en la configuración base común. Este transistor cumple simultáneamente las funciones de mezclador y oscilador. Por esta razón se denomina *conversor*.

La forma como se realiza la mezcla de la señal de RF con la del oscilador local en el receptor de FM se basa en los mismos principios generales expuestos en la Lección 26. Recuerde: dos señales aplicadas a un circuito no lineal siempre se mezclan y generan productos de mezcla.

El efecto neto del proceso de conversión o mezcla en FM es trasladar la modulación de la portadora original (88 a 108 MHz) a una portadora interna más baja (10.7 MHz). Esta última es la frecuencia intermedia (FI) del proceso (figura 403). Recuerdemos que en el sistema AM, el valor estándar de la FI es 455 KHz.





La utilización de una portadora interna más baja que la original permite obtener una alta selectividad y una alta ganancia en las etapas de FI y mantenerlas constantes.

La frecuencia intermedia de 10.7 MHz es uno de los tantos productos de mezcla que se generan a la salida del conversor. Este valor resulta de la diferencia de frecuencias entre el oscilador local (LO) y la portadora (RF) y se selecciona mediante un circuito LC sintonizado a esa frecuencia.

Otros productos de mezcla importantes son la frecuencia suma (LO+RF) y la frecuencia local (LO). Esta última se utiliza como señal de realimentación positiva del oscilador local. La realimentación positiva es una condición necesaria para sostener por sí mismas las oscilaciones.

El oscilador local del conversor está también gobernado por el circuito de control automático de frecuencia o CAF. La función del CAF es mantener constante la frecuencia del oscilador local. Su operación detallada se estudia en la Lección 34.

Una vez trasladada la modulación de la portadora de RF a la portadora interna de FI, esta última señal es amplificada y finalmente detectada. En la próxima lección estudiaremos el proceso de amplificación de la señal de FI. En la Lección 33 se analiza el proceso de detección de la señal FM.

Antes de analizar la operación del conversor de FI del receptor de FM es conveniente conocer las características generales involucradas en el diseño de mezcladores y osciladores locales.

Un mezclador o un oscilador deficientes pueden arruinar el mejor de los receptores, incluso si todas las demás etapas están trabajando óptimamente. Por esto es importante conocer sus requisitos de operación y las formas de hacerlos más eficientes.

### Características generales del mezclador

Las principales características que debe reunir el mezclador de un receptor superheterodino de FM son un alto rango dinámico, una baja figura de ruido, una buena capacidad de aislamiento y ser altamente selectivo.

El rango dinámico se refiere a la capacidad del mezclador para manejar señales fuertes. Puesto que el amplificador de RF no tiene CAG, el mezclador deberá tener un rango dinámico suficiente con el fin de garantizar que señales de entrada muy fuertes no causen sobrecarga ni otros efectos indeseables.

El mezclador de un receptor superheterodino es el principal determinante de su rango dinámico. Pa-

ra una óptima operación, el mezclador deberá recibir sólo la cantidad de señal necesaria para superar el nivel de ruido propio de la etapa.

Cuando se aplican niveles excesivos de señal, se producen fenómenos como la modulación cruzada y la intermodulación (IMD). Un rango dinámico deficiente afecta también la sensibilidad del receptor y provoca la aparición de espúreas.

Una excesiva ganancia del amplificador de RF causa que el mezclador se sature en presencia de señales moderadas y fuertes. Durante mucho tiempo la solución a este problema fue utilizar el proceso de *doble conversión*, que se estudia en la Lección 32.

La figura de ruido de un receptor de FM la establecen primariamente el amplificador de RF y el mezclador. Para garantizar una baja figura de ruido, se deben utilizar dispositivos activos de bajo ruido en estas etapas, preferiblemente transistores de efecto de campo o FET's.

El mezclador deberá proporcionar un óptimo aislamiento entre las entradas de RF y LO y la salida de FI. Un aislamiento deficiente puede ocasionar que la señal del oscilador local se irradie al exterior y cause interferencia o que la señal de FI provoque oscilaciones parásitas.

La selectividad del mezclador se refiere a su habilidad para dejar pasar la frecuencia intermedia y rechazar los demás productos de mezcla. La mayoría de los receptores de FM utilizan algún tipo de filtro pasabanda (LC, de cristal o mecánico) a la salida del mezclador para establecer su selectividad.

Este filtro sirve también para rechazar productos de mezcla no deseados.

Otra consideración de diseño importante es el tipo de dispositivo activo utilizado como mezclador. Nuestro sencillo receptor de FM utiliza un transistor bipolar para este propósito.

Los receptores más avanzados, especialmente los de uso para estaciones de radioaficionado, utilizan diodos Schottky y transistores de efecto de campo (FET's y MOSFET's) como mezcladores. Estos dispositivos son tan sensibles que el amplificador de RF se puede eliminar en muchos casos.

### Características generales del oscilador local

La señal de inyección del mezclador, procedente del oscilador local, debe ser espectralmente pura y altamente estable, estar libre de ruido y espúreas y tener una amplitud adecuada. Así mismo, debe estar convenientemente aislada de la señales de RF y FI.



Esto último es importante porque el oscilador local tiende a sincronizar su frecuencia con la de las señales que le llegan, originando oscilaciones parásitas. Cuando la frecuencia del oscilador sufre una variación debida a factores externos se produce una deriva o desplazamiento de frecuencia.

En el oscilador local del radio FM CEKIT se utilizan básicamente dos métodos para minimizar la deriva de frecuencia: el primero emplea una trampa de FI en el mismo conversor y el segundo un circuito de control automático de frecuencia o CAF.

La trampa de FI aísla la señal del oscilador local de la señal de FI. El CAF corrige automáticamente su frecuencia y la restablece a su valor nominal.

Otra característica importante que debe tener el oscilador local es su velocidad de respuesta. Las oscilaciones deben arrancar tan pronto se aplique el voltaje de alimentación y sostenerse indefinidamente sin ningún tipo de ayuda externa.

La inestabilidad del oscilador local puede ser consecuencia de un diseño deficiente. Para mejorar la estabilidad, el oscilador local del radio FM CEKIT utiliza una fuente de alimentación regulada y emplea bobinas con núcleo de aire.

Se recomienda también usar capacitores de poliéster y asegurarse de que todos los componentes estén firmemente asegurados en su sitio.

En la Lección 25 se analiza en detalle el tema de la estabilidad de frecuencia de los osciladores de RF.

El ruido del oscilador se puede mantener a un valor aceptable utilizando circuitos sintonizados de alto Q. Entre más alto sea el Q, más estrecho es el ancho de banda y, por lo tanto, más bajo es el nivel de ruido en el voltaje de salida.

El oscilador local debe también poder suministrar al mezclador una señal suficientemente fuerte para todas las frecuencias de su rango de operación. Esta condición es importante para garantizar la operación no lineal del dispositivo mezclador. Si éste opera linealmente, no genera productos de mezcla.

### Operación del conversor de FI

En la figura 404 se muestra el diagrama detallado de bloques del conversor de FI. El circuito recibe dos señales de entrada: una modulada, proveniente del amplificador de RF y otra sin modular o continua, generada localmente (LO).

El mezclador combina o heterodina las dos señales de entrada y produce a su salida la señal de fre-

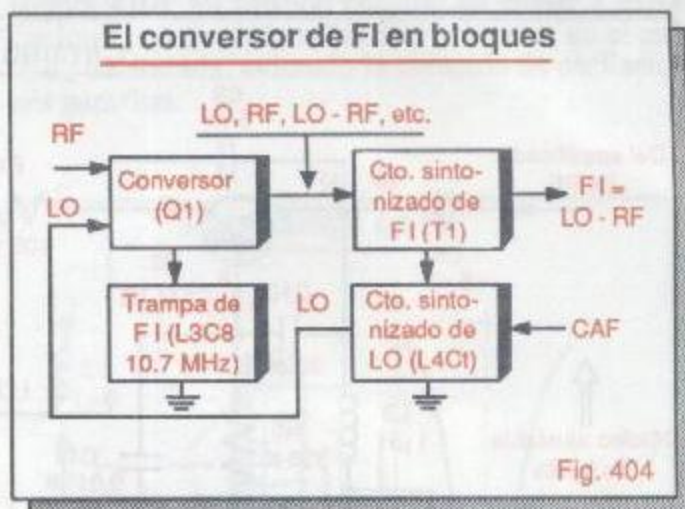


Fig. 404

cuencia intermedia (FI) de 10.7 MHz y otros productos de mezcla, incluyendo la frecuencia local (LO). La señal de FI conserva la misma modulación de la señal de RF.

El circuito de sintonía del mezclador selecciona la señal de FI y la transfiere a la etapa siguiente, ignorando las demás. El circuito de sintonía del oscilador local selecciona la señal LO y la realimenta positivamente a la entrada. La trampa de FI envía a tierra cualquier rastro de FI presente a la entrada.

En la figura 405 se muestra el circuito esquemático del conversor de FI. El dispositivo activo de esta etapa es el transistor Q2, el cual actúa simultáneamente como mezclador y como oscilador local. Se utiliza una tensión de alimentación de +6.2 V.

La señal de RF se inyecta al emisor de Q2 a través del condensador C6. La señal local (LO) se aplica al mismo electrodo a través del condensador C9. Estos condensadores sirven únicamente de acople y su reactancia es muy baja a las frecuencias de operación involucradas.

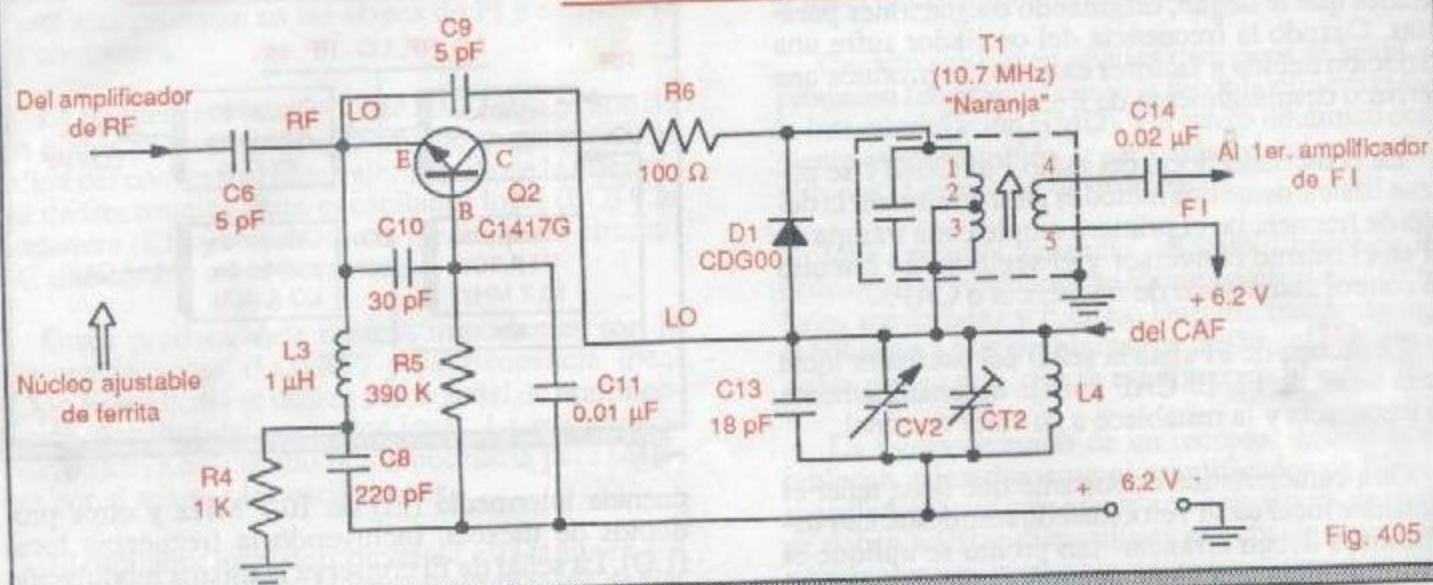
El transformador T1 selecciona la señal de FI y la transfiere a las etapas de FI. El circuito tanque asociado a la bobina L4 selecciona la señal local y la realimenta positivamente a la entrada del conversor. La bobina L3 y el condensador C8 configuran la trampa de FI.

El condensador C11 conecta dinámicamente a tierra la base de Q2. De este modo, las señales de entrada quedan aplicadas efectivamente entre emisor y base y las señales de salida se obtienen entre colector y base. La base sirve como punto común de referencia de los circuitos de entrada y de salida.

El diodo D1, en paralelo con el transformador T1, limita la amplitud de la señal de FI, eliminando los picos de ruido. El condensador C10 se utiliza para mejorar la estabilidad del oscilador.



### Circuito del conversor



La resistencia R6 reduce el riesgo de oscilaciones parásitas, muy comunes en los osciladores a transistores, y aísla el colector de Q2 de tierra. La resistencia R4 hace lo propio con el emisor y sirve de carga a las señales de RF y local.

Estas resistencias cumplen también la importante función de polarizar adecuadamente el convertor.

### El transformador sintonizado de FI

El transformador T1 (figura 406) está sintonizado a 10.7 MHz. Su función consiste en seleccionar la señal de frecuencia intermedia a la salida del mezclador y transferirla al primer amplificador de FI. Proporciona también el necesario acople de impedancias entre ambas etapas.

### El oscilador local

El circuito de sintonía del oscilador local lo constituyen la bobina L4, el condensador variable CV2, el condensador "trimmer" CT2 y el condensador fijo C13, en asocio con el CAF (figura 407).

### Circuito sintonizado del oscilador local

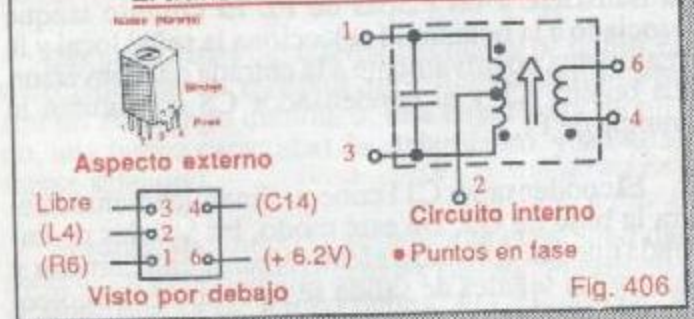


El condensador CV2 trabaja en tándem con el condensador CV1 del amplificador de RF. La bobina L4 se obtiene devanando 3 espiras de alambre esmaltado #19 sobre un núcleo de aire de 4 mm. No se utiliza un núcleo magnético por cuestiones de estabilidad de frecuencia.

El circuito tanque de L4 ofrece una impedancia muy alta a la frecuencia propia del oscilador local y una impedancia muy baja a la frecuencia intermedia de 10.7 MHz. El transformador sintonizado T1 se comporta en forma exactamente contraria.

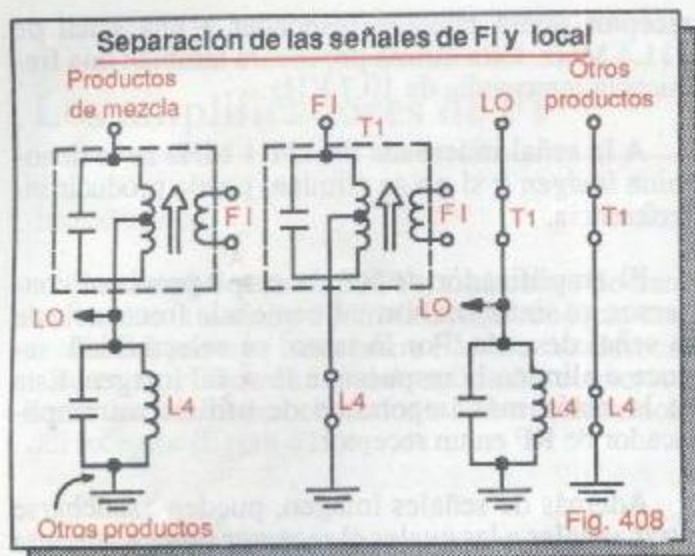
Para los demás productos de mezcla, ambos circuitos presentan una impedancia muy baja. Puesto que los mismos se encuentran en serie con el colector, la señal de FI desarrolla un voltaje máximo

### El transformador sintonizado FI



Este transformador se distingue por poseer un núcleo de ferrita de color naranja. Posee 5 terminales y está blindado magnéticamente con el fin de evitar que irradie energía de FI hacia los circuitos vecinos o reciba señales espúreas.

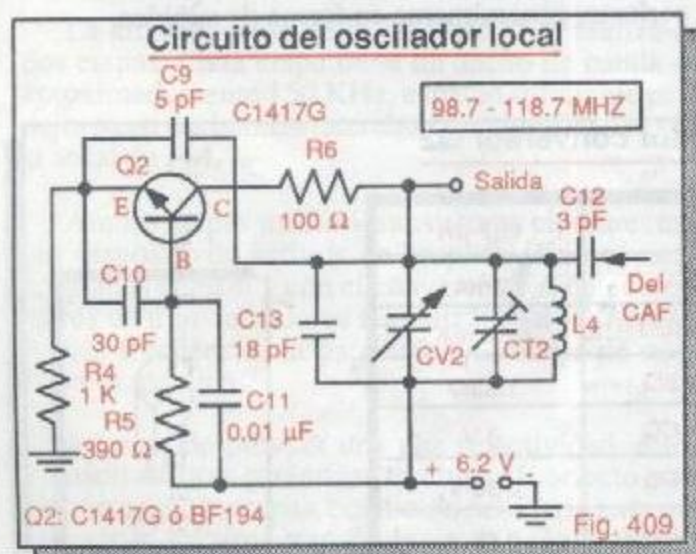




sobre T1 y la señal local un voltaje máximo sobre L4. En la figura 408 se ilustra este concepto.

El CAF (control automático de frecuencia) es, básicamente, un varactor o diodo de capacitancia variable. Su función es mantener constante la frecuencia del oscilador local. La acción del CAF se estudia en la Lección 34. El CAF se acopla capacitivamente al oscilador a través de C12.

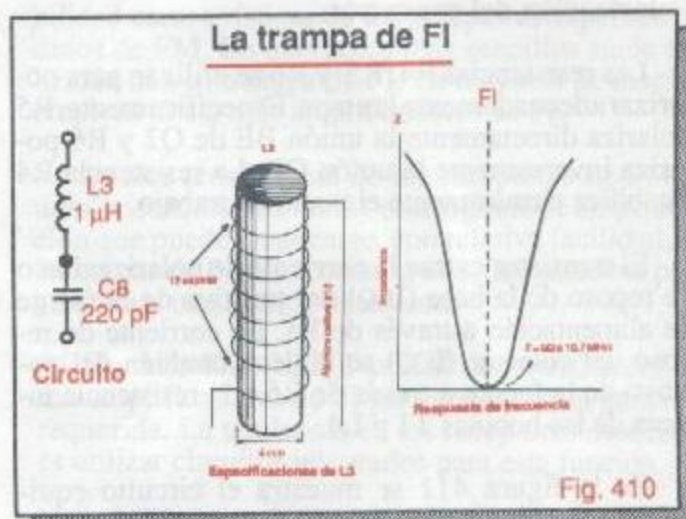
El circuito correspondiente al oscilador local se muestra en la figura 409. Se obtiene del circuito conversor original reemplazando la trampa de FI por un circuito abierto y el transformador sintonizado T1 por un cortocircuito. Así se comportan estos componentes ante la frecuencia local de oscilación.



### El circuito trampa de FI

La bobina L3 y el condensador C8 configuran el circuito trampa de FI, sintonizado a 10.7 MHz

(figura 410). Su función consiste en enviar a tierra cualquier rastro de la señal de FI presente en el circuito de entrada, evitando la creación de oscilaciones parásitas.



A la frecuencia de 10.7 MHz (FI), el circuito resonante serie L3C8 presenta su mínima impedancia posible, comportándose como un cortocircuito a esa frecuencia. Bajo esta circunstancia, el emisor de Q2 queda conectado dinámicamente a tierra.

Puesto que las frecuencias de RF y de LO involucradas son relativamente altas comparadas con la FI de 10.7 MHz, la presencia del circuito trampa no las afecta, comportándose ante ellas como un circuito abierto.

Recuerde que el rango de la señal de RF se extiende desde 88 hasta 108 MHz y el de la señal local desde 98.7 hasta 118.7 MHz. Estas frecuencias están muy lejos del ancho de banda útil del circuito trampa L3C8. Por esta razón son ignoradas.

La señal de FI debe mantenerse confinada al circuito de colector de Q2. Cuando esta señal se realimenta a la entrada, interactúa con las señales de RF y LO, provocando efectos de modulación indeseables. La trampa de FI evita que esto suceda.

El uso de trampas es muy común en los circuitos de comunicaciones. La función primaria de una trampa es evitar que ciertas señales con frecuencias específicas pasen a los circuitos subsiguientes.

Algunas trampas dejan pasar una sola señal deseada o un grupo de señales con frecuencias muy próximas a la de ésta, bloqueando todas las demás.

Otras trampas dejan pasar todas las señales excepto aquellas que se encuentran dentro de algún rango determinado de frecuencias.



Por ejemplo, una trampa puede dejar pasar señales cuyas frecuencias sean inferiores a 2 MHz y superiores a 4 MHz. Por consiguiente, serán rechazadas todas las señales cuyas frecuencias estén entre 2 y 4 MHz.

### Polarización del conversor

Las resistencias R4, R5 y R6 se utilizan para polarizar adecuadamente la etapa. Específicamente, R5 polariza directamente la unión BE de Q2 y R6 polariza inversamente la unión CB. La resistencia R4 estabiliza térmicamente el punto de trabajo.

El transistor extrae la corriente de polarización o de reposo de la base (IBQ) del positivo de la fuente de alimentación a través de R5. La corriente de reposo del colector (ICQ) se obtiene también del positivo de la fuente a través de R6 y la resistencia interna de las bobinas T1 y L4.

En la figura 411 se muestra el circuito equivalente de polarización del conversor de FI. Para obtener este modelo, sustituimos los condensadores por circuitos abiertos y las bobinas por cortocircuitos. También se indican los valores típicos de voltaje obtenidos entre cada electrodo de Q2 y tierra.

### El fenómeno de las frecuencias imágenes y espúreas

Cada frecuencia del oscilador local origina una respuesta de FI para dos valores diferentes de señal de entrada: una mayor y otra menor que la frecuencia del oscilador local.

Si por ejemplo, se ajusta el oscilador local a 100.7 MHz para sintonizar una señal de 90 MHz, el

receptor podrá también responder a una señal de 111.4 MHz. Esta última provocará también una frecuencia intermedia de 10.7 KHz.

A la señal indeseada de 111.4 MHz se le denomina *imagen* y si no se elimina, puede producir interferencia.

El amplificador de RF, la etapa previa al conversor, se sintoniza normalmente a la frecuencia de la señal deseada. Por lo tanto, su selectividad reduce o elimina la respuesta a la señal imagen. Esta es la razón más importante de utilizar un amplificador de RF en un receptor.

Además de señales imagen, pueden escucharse otras señales a las cuales el receptor no se encuentra sintonizado. Estas últimas se denominan *espúreas*.

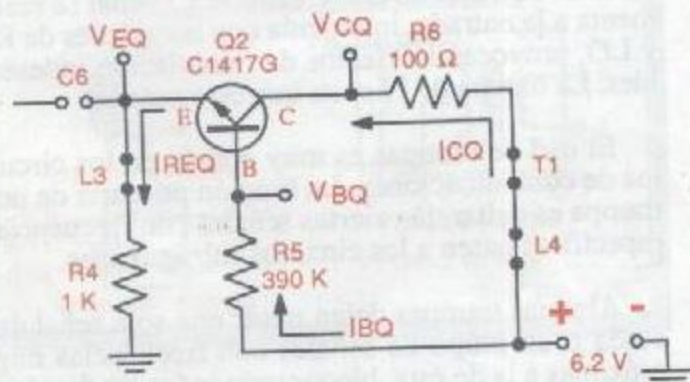
Las armónicas del oscilador local de alta frecuencia pueden mezclarse con señales que se encuentren bastante alejadas de la frecuencia deseada y producir una señal de FI.

Estas respuestas espúreas se pueden reducir utilizando amplificadores de RF muy selectivos y empleando bobinas de FI blindadas. Con el blindaje, se evita la captación de señales parásitas provenientes de otras fuentes distintas de la antena.

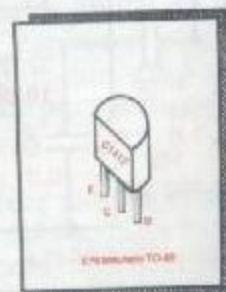
Cuando el detector recibe una señal muy potente las armónicas generadas en este circuito pueden inducirse en el amplificador de RF o en el mezclador, procesándose conjuntamente con la señal deseada.

Estas señales indeseables se manifiestan en el parlante, generalmente en forma de silbidos.

**Circuito de polarización del transistor conversor Q2**



IBQ	11.7 $\mu$ A
ICQ	2 mA
IEQ	0.98 mA
VBEQ	1.63 V
VCEQ	6 V
VEQ	0.98 V
VBEQ	0.65 V
$\beta$ hfe	$\approx$ 170



Todos los voltajes se miden con respecto a tierra, excepto VBEQ  
Nota: IEQ = corriente de reposo a través de la resistencia de emisor (R4)

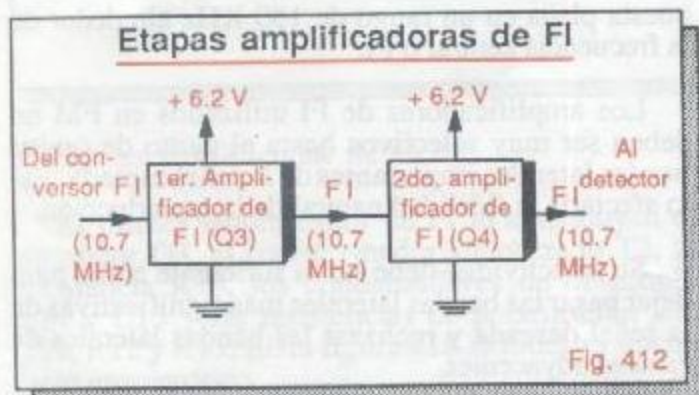
Fig. 411



# Los amplificadores de FI

## Introducción

Los amplificadores de FI son circuitos de banda ancha sintonizados a 10.7 MHz, la frecuencia intermedia del proceso heterodino FM. Su función consiste en amplificar la señal de salida del conversor y suministrarla al demodulador o detector de relación del receptor (figura 412).



El detector convierte las variaciones de frecuencia de la señal de FI en una señal de audio correspondiente. La señal de FI suministrada por el conversor tiene una amplitud fija y su frecuencia varía con respecto a la portadora de 10.7 MHz, dependiendo de la modulación original.

La amplificación de la señal de FI se realiza en dos etapas. Cada etapa tiene un ancho de banda de aproximadamente 150 KHz, espacio suficiente para dejar pasar las bandas laterales más significativas de la señal de FM.

Ambas etapas utilizan transistores bipolares como dispositivos activos de amplificación y están acopladas entre sí y con el conversor y el detector, a través de transformadores sintonizados a 10.7 MHz. A esta frecuencia, la ganancia de voltaje de cada etapa es máxima.

Además de proveer una alta selectividad, estos transformadores garantizan también el correcto acoplamiento entre etapas, condición necesaria para garantizar la máxima transferencia de señal entre un circuito y el siguiente.

## Características de los amplificadores de FI para FM

Las etapas de frecuencia intermedia son las principales responsables de la selectividad y la sensi-

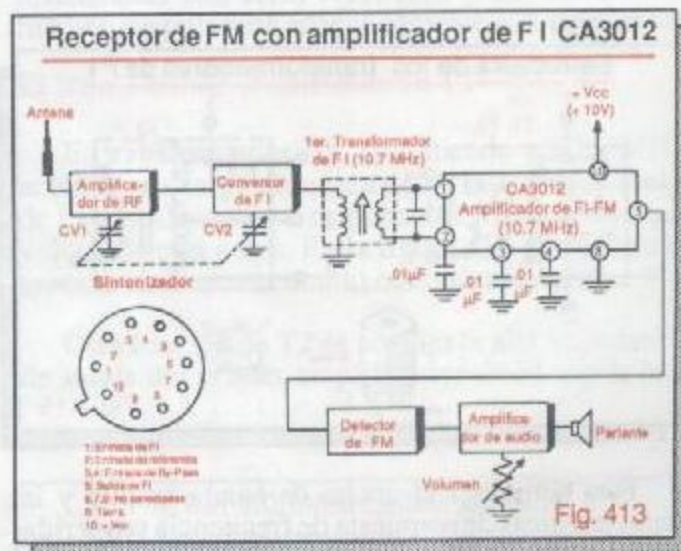
bilidad características de los receptores superheterodinos de FM. En los radios más sencillos suele utilizarse una sola etapa de FI. La mayoría de diseños emplean dos o más amplificadores de FI.

La alta sensibilidad de los receptores de FM es una consecuencia directa del alto grado de amplificación que puede alcanzarse, con relativa facilidad, en las etapas de FI. Es necesaria una alta ganancia para garantizar una óptima detección.

El radio FM CEKIT utiliza dos transistores como amplificadores de FI para conseguir la ganancia requerida. La tendencia en los receptores modernos es utilizar circuitos integrados para esta función.

Los circuitos integrados amplificadores de FI, tales como el CA3012, el ECG736, el TBA120 y otros, son fáciles de conseguir y de utilizar. Además, resultan relativamente económicos.

En la figura 413 se muestra un ejemplo típico de aplicación del circuito integrado CA3012 como amplificador de FI de 10.7 MHz en un receptor de radiodifusión FM. El CA3012 acepta tensiones de alimentación hasta de +10 V. Este voltaje se aplica entre los pines 10 (positivo) y 8 (tierra).



La mayoría de receptores de FM configuran la selectividad de las etapas de FI utilizando transformadores sintonizados de acoplamiento. En el caso del receptor FM CEKIT se utilizan tres transformadores sintonizados a 10.7 MHz para este propósito (figura 414).



## Acoplamiento magnético de las etapas de FI

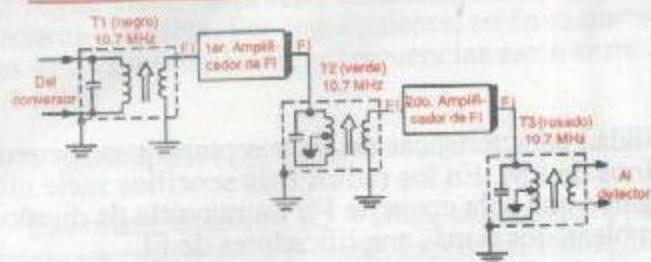


Fig. 414

El primer transformador (T1) acopla la salida del convertidor con la entrada de la primera etapa de FI. El segundo (T2) acopla la salida del primer amplificador con la entrada del segundo. El tercero (T3) acopla la salida de la segunda etapa de FI con la entrada del detector.

Estos transformadores son blindados y se devanan sobre núcleos ajustables de ferrita. Vienen provistos de condensadores fijos y se sintonizan variando la posición del núcleo. Los núcleos se distinguen por colores: naranja para T1, verde para T2 y rosado para T3.

En la figura 415 se muestra la estructura típica de los transformadores de FI utilizados en el receptor de FM CEKIT. El blindaje de aluminio se conecta a tierra. Su propósito es confinar la energía de FI dentro de la estructura, evitando que se irradie al exterior. Minimiza también la captación de ruido.

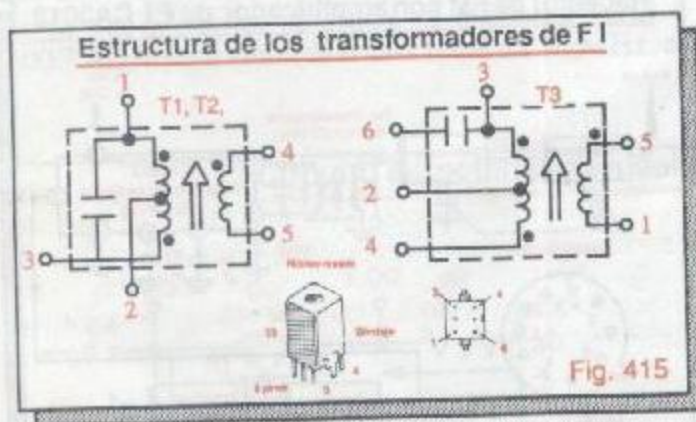


Fig. 415

Para conseguir el ancho de banda amplio y las características de respuesta de frecuencia requeridas por el receptor, estos transformadores deben ser alineados cuidadosamente. El procedimiento de alineación se explica en una lección posterior.

En la figura 416 se muestra una curva típica de respuesta de frecuencia de un amplificador de FI para FM. La frecuencia central de la banda pasante es 10.7 MHz. El circuito debe proporcionar una res-

## Respuesta de frecuencia de los amplificadores de FI

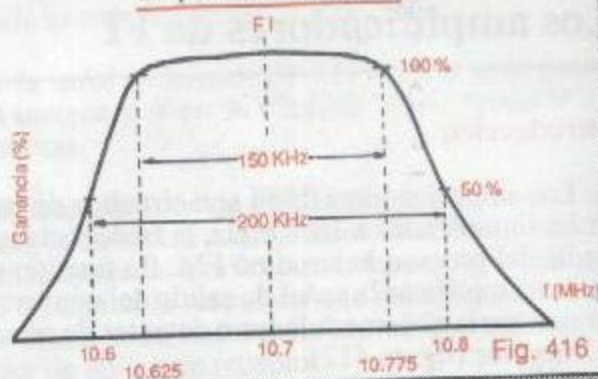


Fig. 416

puesta plana en un rango de 150 KHz alrededor de la frecuencia central o FI.

Los amplificadores de FI utilizados en FM no deben ser muy selectivos hasta el punto de omitir bandas laterales importantes de la señal captada. Esto afectaría la fidelidad natural de la reproducción.

Su selectividad debe ser la suficiente como para dejar pasar las bandas laterales más significativas de la señal deseada y rechazar las bandas laterales de canales adyacentes.

La elección de 10.7 MHz como frecuencia intermedia del proceso heterodino FM es un valor de compromiso entre dos hechos importantes: el rechazo a la frecuencia imagen y la selectividad.

El valor de 10.7 MHz elegido resulta ser lo suficientemente alto como para proporcionar un óptimo rechazo a la frecuencia imagen y lo suficientemente bajo como para garantizar una excelente selectividad y una buena ganancia.

## Operación de los amplificadores de FI

En la figura 417 se muestra el diagrama esquemático de las etapas amplificadoras de FI. El elemento activo de la primera etapa es el transistor Q3, conectado en la configuración base común. El elemento activo de la segunda etapa es el transistor Q4, conectado en la configuración emisor común.

La señal de FI suministrada por el convertidor se transfiere a la entrada del primer amplificador de FI a través del condensador C14. El acoplamiento entre las dos etapas de FI se realiza a través del transformador T2, sintonizado a 10.7 MHz.

La señal de salida del segundo amplificador de FI se acopla magnéticamente al demodulador mediante el transformador T3, sintonizado también a 10.7 MHz. Las dos etapas de FI utilizan una tensión de alimentación de 6.2 V.



## Circuito de los amplificadores de FI

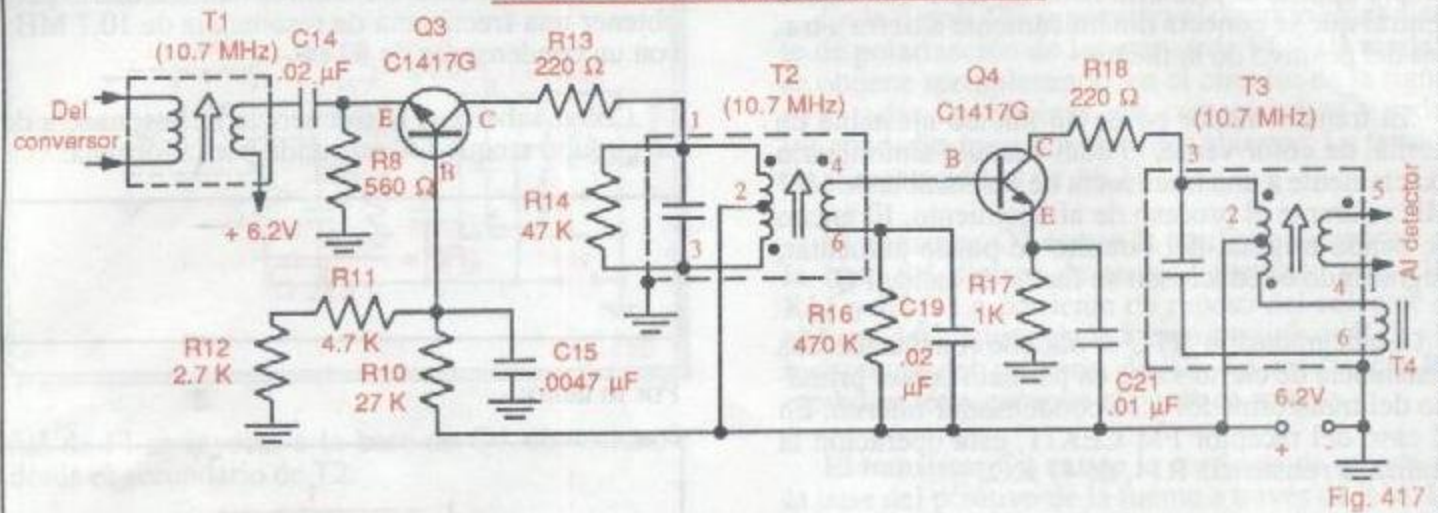


Fig. 417

### El primer amplificador de FI

El primer amplificador de FI lo constituyen el transistor Q3, el transformador sintonizado T2, la resistencia R13, los condensadores de desacople C14 y C15 y las resistencias de polarización R8, R11, R12 y R13. En la figura 418 se muestra su circuito esquemático.

El condensador C15 conecta dinámicamente a tierra la base de Q3. De este modo, la señal de entrada queda aplicada efectivamente entre emisor y base.

La señal de salida del primer amplificador de FI se aplica al primario del transformador T2, sintonizado a 10.7 MHz, y se transfiere a la segunda etapa de FI. A esta frecuencia la ganancia de voltaje de la etapa es máxima.

La resistencia R13 protege al circuito de oscilaciones parásitas. La resistencia R14 se utiliza para disminuir artificialmente el Q del transformador sintonizado T2, aumentando su ancho de banda. Las resistencias R8, R10, R11, R12 y R3 cumplen la función de polarizar adecuadamente el amplificador.

### El primer amplificador de FI

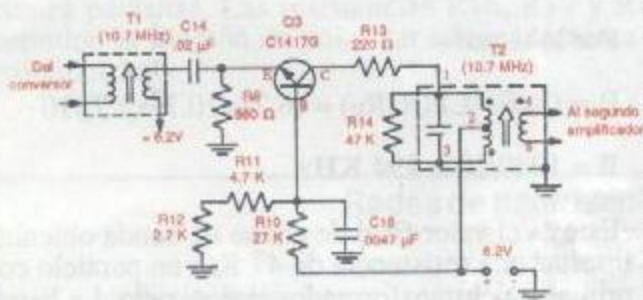


Fig. 418

La señal de entrada del primer amplificador de FI proviene del conversor. El acoplamiento entre ambas etapas se efectúa a través del transformador T1, sintonizado a 10.7 MHz (FI). Este dispositivo acopla la alta impedancia de salida del conversor con la baja impedancia de entrada del amplificador.

La señal de FI se inyecta al emisor de Q3 a través de C14. Este condensador presenta una muy baja reactancia a 10.7 MHz y aísla el emisor del positivo de la fuente, conservando la polarización de la etapa.

### El transformador sintonizado T2

El transformador T2, sintonizado a 10.7 MHz, actúa como carga de salida del primer amplificador de FI y es el principal responsable de la ganancia de voltaje de esta etapa. En la figura 419 se muestra su aspecto típico y su circuito equivalente.

Otra función de T2 es acoplar la alta impedancia de salida del primer amplificador de FI con la baja

### El transformador sintonizado T2

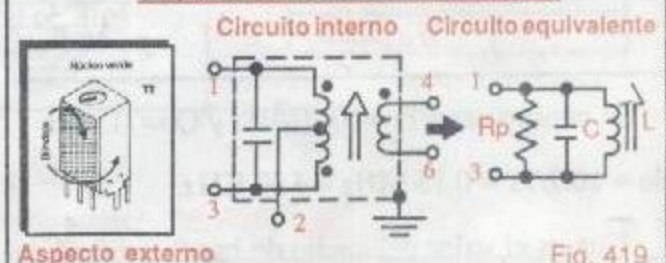


Fig. 419



impedancia de entrada del segundo. Para lograr un acople óptimo el primario tiene un tap o derivación central que se conecta dinámicamente a tierra a través del positivo de la fuente.

El transformador posee un núcleo ajustable de ferrita, de color verde, el cual permite sintonizarlo exactamente a una frecuencia de resonancia de 10.7 MHz durante el proceso de alineamiento. El ancho de banda original del circuito se puede aumentar, degradando o reduciendo su factor de calidad Q.

La degradación del Q se obtiene conectando una resistencia de cierto valor en paralelo con el primario del transformador y su condensador interno. En el caso del receptor FM CEKIT, esta operación la realiza la resistencia R14, de 47 KΩ.

El ancho de banda final obtenido con la inserción de esta resistencia puede evaluarse, en forma aproximada, mediante las siguientes fórmulas:

$$B \approx \frac{2\pi F_o^2 L}{R \parallel R_p}$$

$$R_p = 2\pi Q_o F_o L$$

En estas expresiones,  $2\pi=6.28$  es una constante, B es el ancho de banda final (Hz),  $F_o$  la frecuencia de resonancia (Hz), L la inductancia del primario (H), R la resistencia de degradación (Ω),  $R_p$  la resistencia equivalente de pérdidas de T2 (Ω) y  $Q_o$  el factor de calidad original.

El siguiente ejemplo numérico ilustra el uso de estas fórmulas.

**Ejemplo.** Considerando que el condensador interno del transformador es de 82 pF y que éste tiene un  $Q_o$  de 71 (valores típicos), calcule el ancho de banda original del transformador T1 y el ancho de banda obtenido al conectar una resistencia de 47 KΩ en paralelo.

**Solución.** Según vimos en la lección 24, página 180, el ancho de banda de un circuito sintonizado a una frecuencia central  $F_o$  y con un factor de calidad  $Q_o$  se puede evaluar mediante la fórmula:

$$B = \frac{F_o}{Q_o}$$

En nuestro caso,  $F_o=10.7$  MHz y  $Q_o=71$ . Así:

$$B_o = 10.7/71 = 0.15 \text{ MHz} = 150 \text{ KHz.}$$

Este es el valor del ancho de banda original del transformador sintonizado T1.

Para calcular el ancho de banda final necesitamos conocer el valor de inductancia necesario para obtener una frecuencia de resonancia de 10.7 MHz con un condensador de 82 pF.

Como sabemos, la frecuencia de resonancia de un circuito tanque LC está dada por la fórmula:

$$F_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Por lo tanto:

$$L = \frac{1}{(2\pi F_o)^2 C}$$

En nuestro caso,  $2\pi=6.28$ ,  $F_o=10.7$  MHz y  $C=82$  pF.

Por consiguiente:

$$L = 1/((6.28 \times 10.7)^2 \times 82) = 2.7 \mu\text{H.}$$

De este modo:

$$R_p = 2\pi Q_o F_o L = 6.28 \times 71 \times 10.7 \times 2.7 = 13 \text{ K}\Omega$$

y

$$R_p \parallel R = (13 \times 47)/(13+47) = 611/60 = 10 \text{ K}\Omega.$$

Por lo tanto:

$$B = (2\pi F_o^2 L)/(R \parallel R_p) = (6.28 \times 10.7^2 \times 2.7)/10$$

$$B = 1940/10 = 194 \text{ KHz}$$

Este es el valor final de ancho de banda obtenido al insertar una resistencia de 47 KΩ en paralelo con el primario del transformador sintonizado. La banda de paso se ha extendido en 44 KHz con respecto a su valor original (150 KHz). Esto representa un incremento del 30%, aproximadamente.

## El segundo amplificador de FI

El segundo amplificador de FI lo constituyen el transistor Q4, el transformador sintonizado T3, los condensadores de desacople C19 y C21 y las resistencias de polarización R16, R17 y R18. En la figura 420 se muestra su circuito esquemático.

La señal de entrada del segundo amplificador de FI proviene de la primera etapa. El acoplamiento entre ambos circuitos se efectúa a través del transformador T2, sintonizado a la FI de 10.7 MHz. La se-



## El segundo amplificador de FI

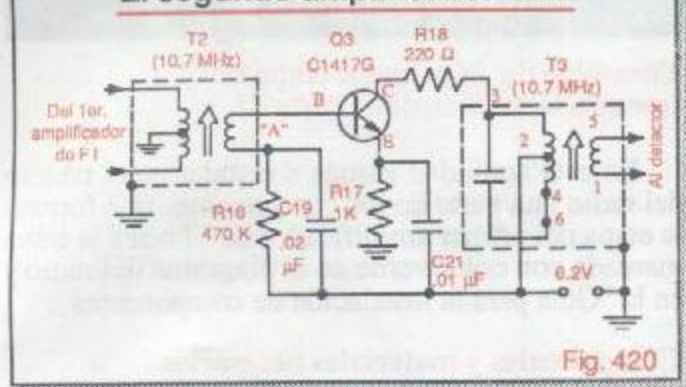


Fig. 420

ñal de FI se inyecta a la base de Q4 directamente desde el secundario de T2.

Los condensadores C19 y C21 conectan dinámicamente a tierra el extremo "A" de T2 y el emisor de Q4, respectivamente. De este modo, la señal de entrada queda aplicada efectivamente entre base y emisor. El emisor es el punto común de referencia de las señales de entrada y de salida.

La señal de salida del segundo amplificador de FI se obtiene en el colector y se aplica al primario del transformador T3, sintonizado a 10.7 MHz. A esta frecuencia la ganancia de voltaje de la etapa es máxima. Luego la señal de FI se transfiere al demodulador o detector de FM.

La resistencia R18 protege al circuito de oscilaciones parásitas. Las resistencias R16, R17 y R18 cumplen la función de polarizar adecuadamente el amplificador.

## Polarización de los amplificadores de FI

En la figura 421 se muestra el circuito equivalente de polarización de las etapas de FI. Este modelo se obtiene reemplazando, en el circuito de la figura 417, todas las bobinas por cortocircuitos y todos los condensadores por circuitos abiertos. La tensión de alimentación es de +6.2V.

El transistor Q3 extrae la corriente de reposo de la base del divisor de tensión formado por R10, R11 y R12. La corriente de reposo del colector se obtiene del positivo de la fuente a través de R13 y la resistencia del primario de T2. La resistencia R8 estabiliza térmicamente el punto de trabajo.

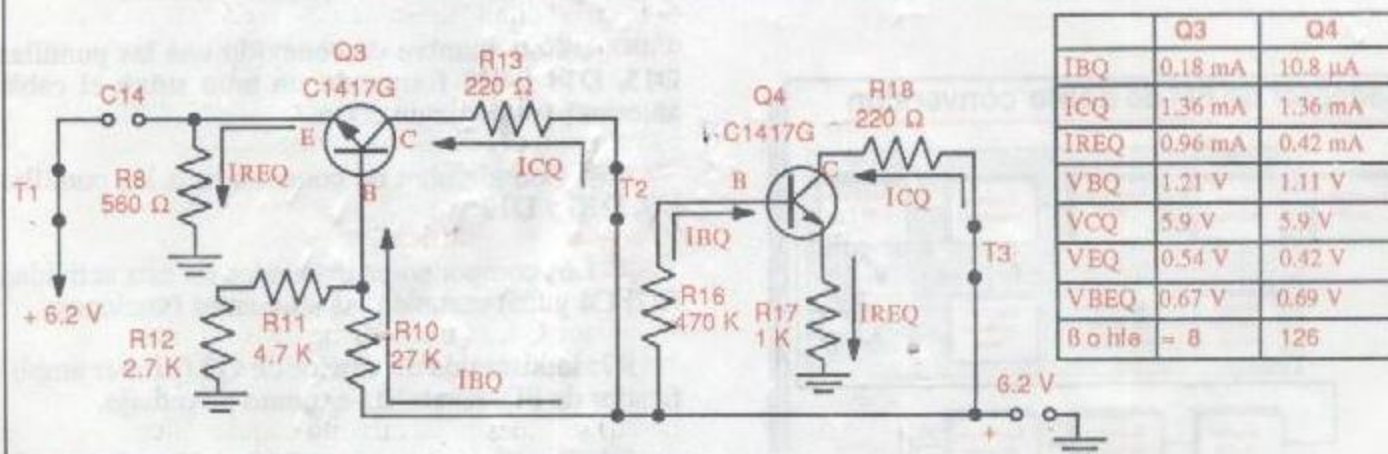
El transistor Q4 extrae la corriente de reposo de la base del positivo de la fuente a través de R16. La corriente de reposo del colector se obtiene también de la línea de +6.2V a través de R18 y la resistencia del primario de T3. La resistencia R17 estabiliza térmicamente el punto de trabajo.

## Receptores de FM de doble conversión

La mayor parte de los receptores usados en comunicaciones de FM se diseñan para la banda de VHF. En este rango de frecuencias no siempre es posible obtener recepción óptima con un circuito superheterodino convencional debido a las características de la FI.

Como sabemos, una FI alta es conveniente para asegurar una buena selectividad. Sin embargo no garantiza un buen rechazo de las frecuencias imagen.

## Redes de polarización de los amplificadores de FI



Todos los voltajes se miden con respecto a tierra, excepto VBEQ

Nota: IREQ = corriente de reposo a través de las resistencias de emisor (R8, R16)

Fig. 421



Los amplificadores de FI no pueden distinguir entre las señales de FI producidas por la señal deseada y la señal imagen. Una FI baja, aunque deja pasar algunas frecuencias imagen, garantiza que éstas sean menos numerosas y de menor amplitud.

Resulta entonces obvio que una sola FI no puede asegurar al mismo tiempo una buena selectividad y una buena supresión de frecuencias imagen. Para minimizar este inconveniente muchos receptores de FM aplican el proceso de doble conversión.

En la figura 422 se muestra el diagrama de bloques de un receptor de FM de doble conversión.

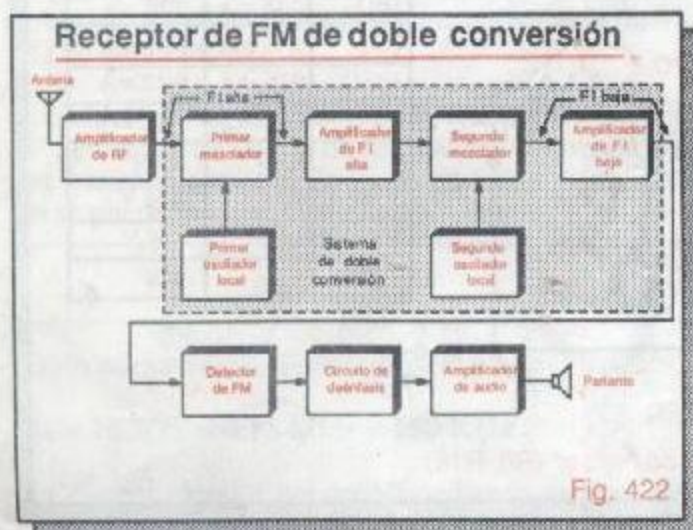
Por medio de este sistema la señal se convierte primeramente en una FI alta y se amplifica. Así se obtiene la selectividad de frecuencia requerida. A continuación, la FI inicial se convierte en una FI más baja. Para esta operación se necesita otro mezclador y otro oscilador local. Este proceso asegura la supresión requerida de frecuencias imagen.

Los circuitos restantes son los mismos que en un receptor de conversión simple convencional.

El segundo mezclador deberá estar localizado después de un filtro altamente selectivo si se desean minimizar las espúreas y las frecuencias imagen.

Los requisitos de diseño del segundo mezclador y del segundo oscilador local no son tan exigentes como para los primeros. Para estas funciones pueden utilizarse transistores bipolares de bajo costo.

Con un esquema de doble conversión es posible eliminar la etapa amplificadora de RF sin degradar seriamente la sensibilidad del receptor, si existe suficiente selectividad antes del primer mezclador. En estos casos resulta muy práctico el uso de FETs y MOSFETs como dispositivos mezcladores.



## Actividad práctica N° 18

### Ensamble de la primera etapa de frecuencia intermedia. (Parte 1)

En esta actividad vamos a instalar en el tablero del radio una parte de los componentes que forman la etapa del primer amplificador de FI o sea la etapa marcada con color verde en el diagrama del radio y en la "Guía para la instalación de componentes".

### Componentes y materiales necesarios

- 1 Resistencia de 470  $\Omega$ , 1/4 W, 5% (amarillo, violeta, café, dorado). R7.
- 1 Condensador de cerámica de 0.02  $\mu\text{F}/50\text{V}$ . C5.
- 1 Condensador electrolítico de 10  $\mu\text{F}/10\text{V}$  ó 16V. C4.
- Alambre de conexión.

**Paso 1:** Instale la resistencia R7 de 470  $\Omega$  entre las puntillas D10 y D11. Utilice el terminal interior de la resistencia para unir las puntillas D11 y 8.

**Paso 2:** Instale el condensador C5 de 0.02  $\mu\text{F}$  entre las puntillas D12 y 9.

**Paso 3:** Instale el condensador C4 de 10  $\mu\text{F}/10\text{V}$  entre las puntillas D6 y D11. Asegúrese de que el terminal negativo quede en la puntilla D11. Recorte los terminales sobrantes.

**Paso 4:** Con alambre de conexión, una las puntillas 10 y D13 dejando unos tres centímetros libres en el extremo de D13, que se debe conectar después a la carcasa metálica de T2.

**Paso 5:** Con alambre de conexión una las puntillas D16 y 42, formando ángulo recto como lo muestra la guía para la instalación de componentes.

**Paso 6:** Con alambre de conexión una las puntillas D15, D14 y D8 formando un arco sobre el cable anterior para evitar un corto.

**Paso 7:** Con alambre de conexión una las puntillas D9, D10 y D12.

**Nota:** Los componentes instalados en esta actividad (R7, C4 y C5) cumplen las siguientes funciones:

R7: Resistencia de emisor de Q2 (primer amplificador de FI). Estabiliza el punto de trabajo.

C4: Configura junto con R10 el filtro de retardo del voltaje de CAG de Q2.

C5: Conecta dinámicamente a tierra el emisor de Q2, mejorando la ganancia de CA de la 1ª etapa.



## Lección 33

### El detector de relación o demodulador FM

#### Introducción

En esta lección se estudia el demodulador o detector del radio FM CEKIT. La función de este circuito es recuperar las variaciones de amplitud de baja frecuencia de la información de audio implícitas en las variaciones de frecuencia de la portadora de FI. En la figura 423 se muestra su bloque funcional.



El detector recibe la señal amplificada de FI suministrada por la segunda etapa, ignora la portadora interna de 10.7 MHz y convierte las variaciones de frecuencia de esta última en variaciones de amplitud de baja frecuencia, es decir, en una señal de audio.

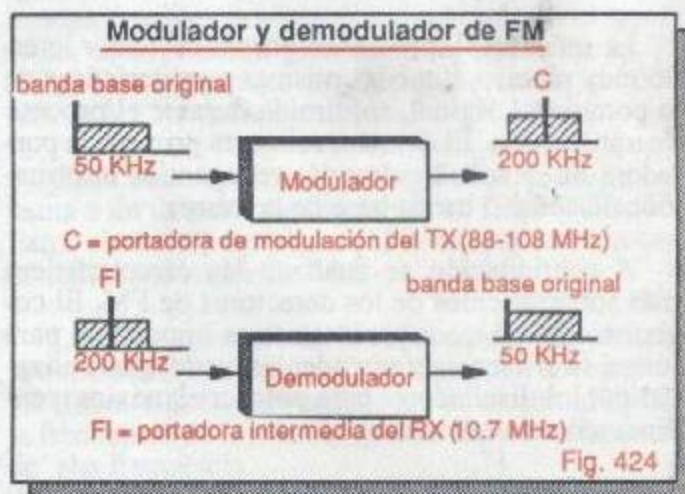
Además de ésta, que es su función básica, el detector actúa como *limitador* dinámico de amplitud de ruido y espúreas y suministra la señal de entrada del CAF o control automático de frecuencia.

En términos generales, el detector convierte la señal de FI modulada en frecuencia en una señal de audio que está modulada tanto en amplitud como en frecuencia. La modulación de la señal de audio se refiere al hecho de que su amplitud y frecuencia instantáneas están cambiando con el tiempo.

La señal de audio extraída por el detector debe ser, en lo posible, una réplica exacta de la información original (modulación) enviada con la portadora de RF desde el transmisor y trasladada a la portadora interna de FI en el receptor.

En este sentido, el detector de un receptor de FM opera en forma exactamente opuesta al modulador del transmisor. Mientras que el modulador transfiere la señal de audio a la portadora de RF para modular su frecuencia, el detector extrae la señal de audio de la portadora de FI.

En otras palabras, el modulador traslada una banda base de baja frecuencia a una portadora de alta frecuencia. El detector retorna la banda base de la portadora a sus condiciones originales. En la figura 424 se ilustra este concepto.



En general, la demodulación o detección es el proceso de recuperar una señal de audio de una portadora modulada. Cualquier circuito que extraiga una información de una portadora modulada es, por lo tanto, un detector.

Todos los detectores realizan la misma función básica descrita anteriormente, es decir, recuperar la información original enviada sobre una portadora. La diferencia entre los diferentes tipos de receptores (AM, FM, SSB, etc.) radica, precisamente, en la forma como ellos demodulan la señal recibida.

Las técnicas de detección utilizadas en FM son sustancialmente distintas a las empleadas en AM debido a la forma tan diferente como viene codificada la información en ambos sistemas.

En AM la información se envía codificada en las variaciones de amplitud de la portadora y se mantiene constante su frecuencia. En FM se envía codificada en las variaciones de frecuencia, manteniéndose constante la amplitud de la portadora.

Los circuitos utilizados para detectar señales de AM o FM tienen sólo una entrada: la de la señal de FI. Los utilizados para demodular señales de SSB (banda lateral única) y DSB (banda lateral doble), requieren de dos entradas: una para la señal incidente y otra para una señal local (figura 425).



## Demodulador de SSB



La señal local, producida por un oscilador interno muy preciso, tiene las mismas características de la portadora original, suprimida durante el proceso de transmisión. El detector reinserta primero la portadora en la señal y después recupera la información de audio o banda base de la misma.

A continuación se analizan las características más sobresalientes de los detectores de FM. El conocimiento de estos parámetros es importante para juzgar su eficiencia y entender las estrategias utilizadas por los diseñadores para obtener el máximo rendimiento de estos circuitos.

Posteriormente se describen y analizan los circuitos de detección de FM más populares, haciendo especial énfasis en los detectores de fase y de relación que son los más utilizados. Finalmente, se analiza el detector de relación *balanceado* empleado en el radio FM CEKIT.

## Características de los detectores de FM

Las principales características de un detector de FM son su linealidad, su sensibilidad, su selectividad y su capacidad de manejo.

La linealidad se refiere a su habilidad para no distorsionar la señal detectada. La señal de audio obtenida debe ser una réplica exacta de las variaciones de frecuencia de la señal de FI.

La sensibilidad se refiere a su capacidad para amplificar la señal al mismo tiempo que la detecta. Los detectores con esta característica utilizan dispositivos activos como tubos, transistores y CIs.

La selectividad se refiere a su habilidad para responder a una banda dada de frecuencias y rechazar frecuencias que estén por fuera de esa banda. El detector del radio FM CEKIT responde a frecuencias dentro de un ancho de banda de 200 KHz.

La capacidad de manejo se refiere a su habilidad para demodular señales de entrada de gran amplitud sin producir distorsión excesiva ni sobrecarga.

Así mismo, un detector de FM deberá ser, en lo posible, insensible a los cambios de amplitud de la señal de entrada y su ajuste y operación no deberán ser factores críticos.

## Tipos de detectores de FM

Los circuitos detectores de FM tienen una entrada y una salida. A la entrada se aplica un voltaje (FI) de amplitud constante y frecuencia variable. A la salida se obtiene un voltaje (audio) cuya amplitud instantánea depende de las variaciones de frecuencia de la señal de entrada.

Existen básicamente 4 tipos de detectores de FM:

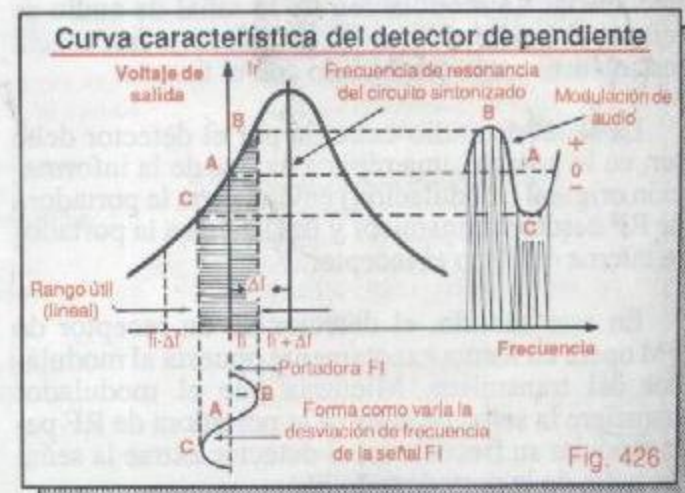
- El detector de pendiente.
- El detector de pendiente balanceado.
- El discriminador de fase o de Foster-Seeley.
- El detector de relación.

Cada uno de estos circuitos tiene sus propias virtudes y limitaciones. Los más simples son los detectores de pendiente. Los discriminadores se utilizan en los equipos para radioaficionados y de banda ciudadana y los detectores de relación en receptores de radiodifusión de FM y televisión.

El receptor de FM CEKIT utiliza un detector de relación balanceado, que es una de las configuraciones detectoras de FM más eficientes. Por esta razón prestaremos particular atención a los principios de funcionamiento de este último.

## El detector de pendiente

En la figura 426 se ilustra el principio de operación de un detector de pendiente. La señal de FI alimenta un circuito sintonizado cuya frecuencia de resonancia ( $f_r$ ) está desplazada con respecto a la frecuencia de portadora de la señal de entrada ( $f_i$ ) en una cantidad igual a su desviación máxima ( $\Delta f$ ).





La amplitud instantánea de la señal de salida será siempre directamente proporcional a la desviación instantánea de frecuencia de la portadora de FI. En el punto A, por ejemplo, la desviación de frecuencia es cero. Por lo tanto, la amplitud de la señal de salida es también cero.

En los puntos B y C la desviación de frecuencia es máxima con respecto a la portadora de FI. Bajo estas circunstancias, la amplitud de la señal de salida es también máxima, siendo positiva en el primer caso, porque la desviación es positiva, y negativa en el otro, porque la desviación es negativa.

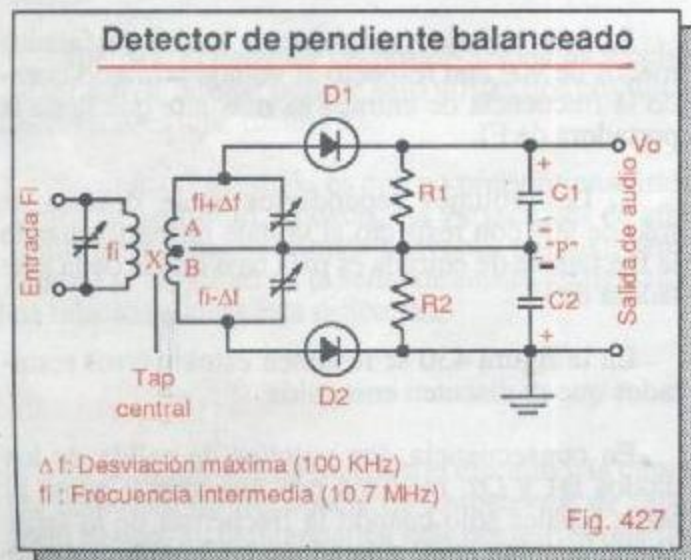
Algo parecido puede decirse de cualquier punto intermedio. El voltaje de salida del circuito resonante se aplica entonces a un detector de diodo, similar al utilizado en un receptor de AM, para eliminar las variaciones de alta frecuencia (FI) y suministrar a la etapa siguiente sólo las variaciones de audio.

Como vemos, un detector de pendiente opera de una manera extremadamente simple. Sin embargo, es ineficiente por las siguientes razones:

- Sólo es lineal en un rango muy limitado de frecuencias.
- Responde también a cambios de amplitud. Por lo tanto, detecta también cualquier ruido asociado a la señal de entrada.
- Es relativamente complicado de ajustar y su operación es crítica.

### El detector de pendiente balanceado

En la figura 427 se muestra la configuración de un detector de pendiente balanceado, llamado también *detector de Travis*, en honor de su inventor. El



circuito utiliza dos detectores de pendiente, conectados en oposición de fase a los extremos de un transformador con tap o derivación central.

El primario del transformador se sintoniza a la frecuencia de la portadora de FI ( $f_i$ ). El secundario superior se sintoniza a una frecuencia igual a  $f_i + \Delta f$  y el inferior a una frecuencia igual a  $f_i - \Delta f$ . Como sabemos,  $\Delta f$  es la desviación máxima de frecuencia de la portadora de FI.

En receptores de radiodifusión FM,  $\Delta f$  se toma igual a 100 KHz para cubrir el máximo número de bandas laterales posible. Recuerde que en el transmisor la desviación pico máxima admisible es 75 KHz, lo cual provee un ancho de banda de 200 KHz y una modulación máxima de 50 KHz.

Cada circuito sintonizado del secundario se conecta a un detector de diodo y a un filtro RC de FI. Estos circuitos cumplen aquí la misma función que en un demodulador de AM.

Los diodos rectifican la señal de entrada presente entre el tap central y cada extremo del devanado y los filtros siguen las variaciones de amplitud de baja frecuencia de la misma, ignorando las variaciones de alta frecuencia.

La señal de salida total ( $V_o$ ) es la suma o superposición de las salidas individuales de cada filtro. Veamos entonces cómo opera el detector balanceado.

Cuando la desviación de frecuencia de la señal de entrada es máxima, el voltaje desarrollado en uno de los devanados sintonizados del secundario será el máximo posible, dependiendo de la dirección de la desviación.

Si la desviación máxima es positiva (por encima de la portadora de FI), la frecuencia de la señal de entrada será  $f_i + \Delta f$  y entrará en resonancia el circuito superior, desarrollándose un voltaje máximo en el devanado "A" y un voltaje mínimo en el devanado "B". El voltaje de salida será máximo positivo.

Si la desviación máxima es negativa (por debajo de la portadora de FI), la frecuencia de la señal de entrada será  $f_i - \Delta f$  y entrará en resonancia el circuito inferior, desarrollándose un voltaje máximo en el devanado "B" y un voltaje mínimo en el devanado "A". El voltaje de salida será máximo y negativo.

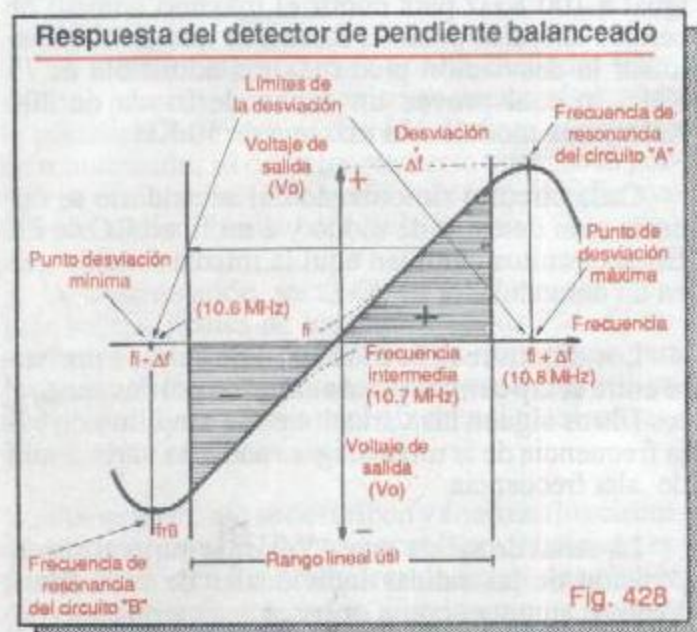
Cuando la desviación instantánea de la portadora de FI está entre estos dos extremos, el voltaje de salida tendrá algún valor intermedio, dependiendo de la magnitud y polaridad de la desviación.

En particular, si la desviación es cero, la frecuencia de la señal de entrada tendrá un valor igual al de



la portadora de FI (10.7 MHz). Bajo estas condiciones, ninguno de los circuitos sintonizados entrará en resonancia y el voltaje de salida será prácticamente cero.

Algo similar a esto último sucede cuando la frecuencia de la señal de entrada se sale del rango comprendido entre  $f - \Delta f$  y  $f + \Delta f$ . El circuito rechaza así señales no deseadas como imágenes y espúreas. En la figura 428 se resume su comportamiento.



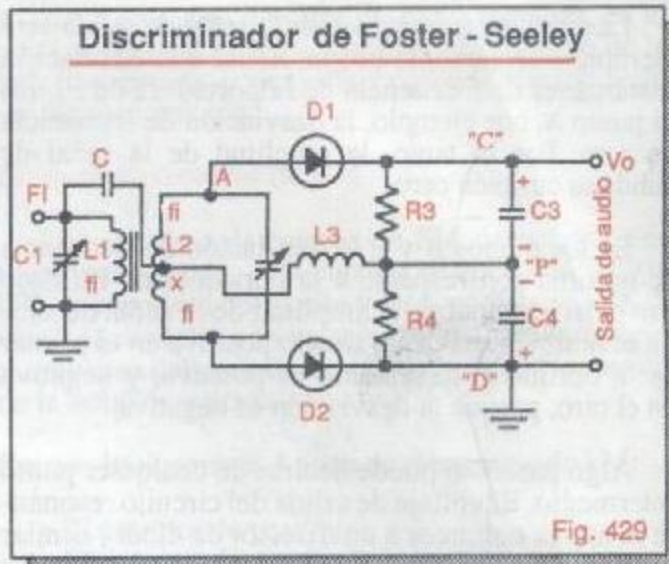
A pesar de ser considerablemente más eficiente y lineal que el detector de pendiente, la calibración del detector balanceado sigue siendo aún muy crítica. Además, el detector responde también a los cambios de amplitud y su linealidad, aunque es buena, no es óptima.

### El detector de fase o discriminador de Foster-Seeley

En la figura 429 se muestra el circuito de un detector de fase, más comúnmente conocido como *discriminador de Foster-Seeley*, en honor de sus inventores. El circuito es similar en su estructura al detector de pendiente balanceado.

Observe que se sigue conservando la misma configuración de diodos y filtros RC a la salida por ser un esquema muy satisfactorio. Sin embargo, los devanados primario y secundario están ambos sintonizados a la portadora de FI (fi). Estos circuitos son de alto Q y su inductancia mutua es muy baja.

Además, se ha insertado una bobina ( $L_3$ ) entre el punto común de los filtros (P) y el tap central del secundario y un condensador (C) entre este último y la entrada de señal del primario. Esto asegura que



los voltajes aplicados a los diodos varíen linealmente con las desviaciones de frecuencia de la señal FI.

La bobina  $L_3$  es un choque de radiofrecuencia (RFC). Su propósito es suministrar una gran reactancia a las frecuencias involucradas. Esta reactancia es muy superior a la de C,  $C_3$  y  $C_4$ .

El voltaje a través de  $L_3$  es prácticamente igual al voltaje de entrada ( $V_{in}$ ). El voltaje aplicado a cada diodo es la suma del voltaje primario y el correspondiente voltaje secundario, medido este último con respecto al tap central (X).

El voltaje de salida ( $V_o$ ), obtenido entre los puntos C y D, es la diferencia de los voltajes sobre  $C_3$  y  $C_4$ . Otras características importantes del circuito, demostrables matemáticamente, son:

1. Los voltajes secundarios están desfasados exactamente  $90^\circ$  con respecto al voltaje primario cuando la frecuencia de entrada es igual a la de la portadora de FI.
2. Los voltajes secundarios están desfasados menos de  $90^\circ$  con respecto al voltaje primario cuando la frecuencia de entrada es más alta que la de la portadora de FI.
3. Los voltajes secundarios están desfasados más de  $90^\circ$  con respecto al voltaje primario cuando la frecuencia de entrada es más baja que la de la portadora de FI.

En la figura 430 se resumen estos y otros resultados que se discuten enseguida.

En consecuencia, los voltajes de salida de los diodos D1 y D2, medidos con respecto al punto P, serán iguales sólo cuando la frecuencia de la señal de entrada sea igual a la FI de 10.7 MHz. En este



## Condiciones de fase del discriminador Foster - Seeley



caso, el voltaje neto de salida ( $V_o$ ), medido entre los puntos C y D, será cero.

En los demás casos, uno de los voltajes de salida de los diodos D1 o D2 será mayor que el otro, dependiendo de la frecuencia instantánea de la señal de entrada. Bajo estas circunstancias, el voltaje neto de salida será positivo o negativo, según la desviación de frecuencia con respecto a la FI sea positiva o negativa.

De este modo, la magnitud y polaridad del voltaje de salida dependen de la magnitud y polaridad de la desviación de frecuencia de la señal de entrada. Este es precisamente el comportamiento que se espera de un detector de FM.

El detector de Foster-Seeley tiene una curva característica de respuesta de frecuencia como la que se muestra en la figura 431. Puede observarse que es más lineal que la del detector de pendiente balanceado.

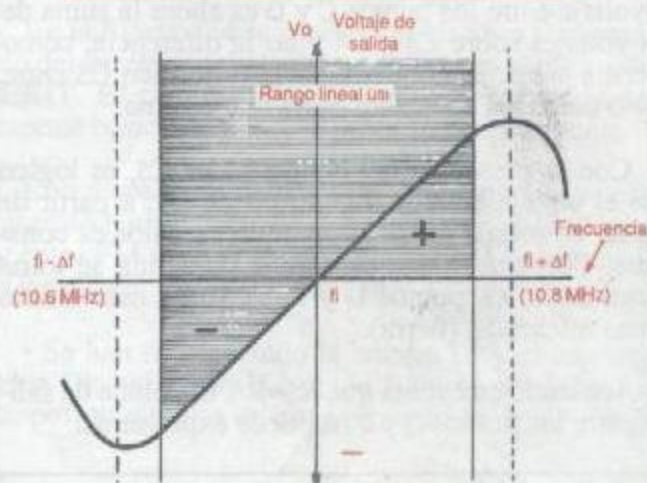
Además, el detector de Foster-Seeley es mucho más fácil de alinear porque sólo utiliza dos circuitos sintonizados a la misma FI.

Su única desventaja es que no proporciona limitación de amplitud, es decir, las variaciones de amplitud en la señal de entrada provocan también cambios en la amplitud de la señal de salida. El detector de relación supera esta dificultad.

### El detector de relación

En la figura 432 se muestra el circuito y la curva de respuesta de frecuencia de un detector de relación básico. Su característica más notable es que ig-

### Característica del detector de fase



nora los cambios de amplitud de la señal de entrada y por lo tanto no detecta ruido ni espúreas eventualmente asociadas a la señal de FM.

Con respecto al detector de Foster-Seeley, el detector de relación presenta tres modificaciones fundamentales:

- Se ha invertido la orientación o polaridad de uno de los diodos (el inferior, D2).
- Se ha insertado un condensador electrolítico de gran capacidad ( $C_5$ ) y un divisor de tensión resistivo ( $R_5$  y  $R_6$ ) en paralelo con los terminales de salida originales. En la práctica,  $R_5 = R_6$ .
- La señal de salida se extrae ahora de otro par de puntos (Q y P).



## Detector de relación básico

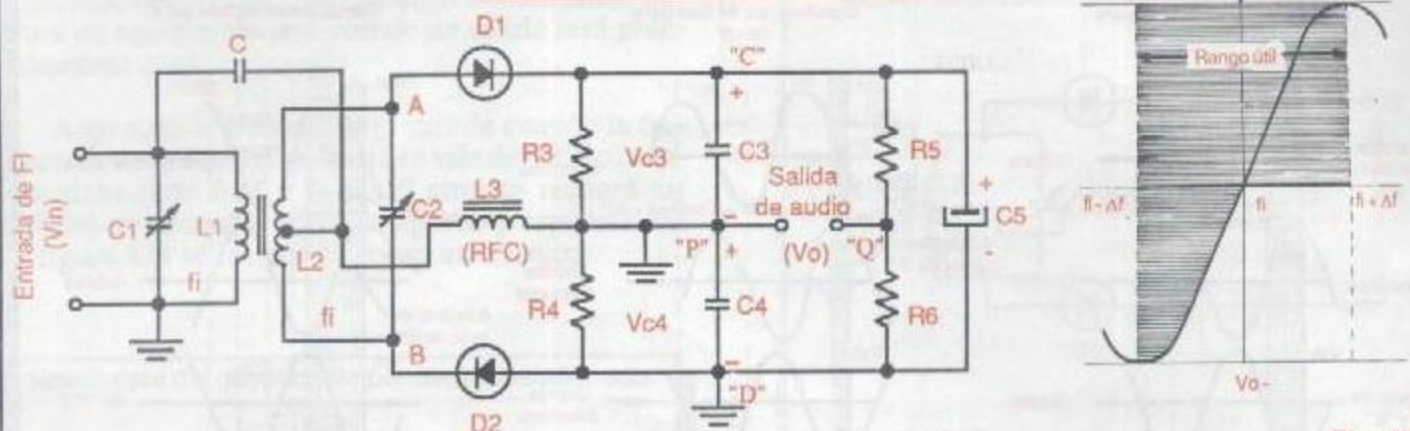


Fig. 432

### El circuito opera así:

Con el diodo \$D\_2\$ invertido, el punto P es ahora positivo con respecto al punto D. Por consiguiente, el voltaje entre los puntos C y D es ahora la suma de los voltajes sobre \$C\_3\$ y \$C\_4\$ y no la diferencia, como sucedía antes. El condensador electrolítico \$C\_5\$ entre C y D conserva constante este voltaje suma.

Con la presencia del condensador \$C\_5\$, es lógico que el voltaje entre C y D no puede ser, a partir de ahora, el voltaje de salida porque su valor es constante. Por esta razón, el voltaje de salida se toma ahora entre los puntos Q y P, tomando este último como referencia (tierra).

Teniendo en cuenta que \$R\_5=R\_6\$, el voltaje de salida entre los puntos Q y P se puede expresar así:

$$V_o = V_{qp} = \frac{(V_{cp} - V_{dp})}{2} = \frac{(V_{c3} - V_{c4})}{2}$$

En esta expresión, \$V\_o=V\_{qp}\$ es el voltaje de salida, medido entre los puntos Q y P, \$V\_{cp}=V\_{c3}\$ el voltaje entre los puntos C y P o sea el voltaje sobre \$C\_3\$, medido con respecto a tierra, y \$V\_{dp}=V\_{c4}\$ el voltaje entre los puntos D y P o sea el voltaje sobre \$C\_4\$, medido también con respecto a tierra.

El detector de relación se comporta exactamente igual ante las desviaciones de frecuencia con respecto a la portadora de la señal de entrada que el discriminador de Foster-Secley y por eso tienen la misma curva "S" o característica. La diferencia está en cómo se comporta ante los cambios de amplitud.

### El detector de relación como limitador de amplitud

Para explicar la forma cómo el detector de amplitud responde a los cambios de amplitud de la señal

de entrada, asumamos inicialmente que el voltaje de esta última (\$V\_{in}\$) ha permanecido constante durante un tiempo relativamente largo.

Bajo esta condición, \$C\_5\$ ha tenido tiempo de cargarse completamente al voltaje entre los puntos C y D y no fluirá corriente a través suyo.

En otras palabras, el condensador \$C\_5\$ se comportará como un circuito abierto. La resistencia de carga vista por los diodos \$D\_1\$ y \$D\_2\$ será la suma de \$R\_3\$ y \$R\_4\$, las cuales, en la práctica, son muy pequeñas comparadas con \$R\_5\$ y \$R\_6\$.

Si el voltaje de entrada tiende a incrementarse, el condensador \$C\_5\$ se opondrá a cualquier cambio en el voltaje de salida (\$V\_o\$).

Este fenómeno sucede no sólo porque \$C\_5\$ tiene una gran constante de tiempo RC asociada a él. Ocurre también porque a medida que el voltaje de entrada aumenta, circula más corriente a través de los diodos y la corriente en exceso se inyecta a \$C\_5\$, cargándolo aún más.

En consecuencia, el voltaje entre C y D seguirá permaneciendo constante porque no es posible cambiar instantáneamente el voltaje a través de \$C\_5\$. El efecto neto de esto es que la corriente suministrada a la carga ha aumentado pero el voltaje sobre la carga no ha cambiado.

Lo anterior se interpreta como una disminución en la resistencia de la carga. Al sentirse más cargado el secundario del transformador, éste disminuirá su Q y, por lo tanto, la ganancia del amplificador de FI que maneja el detector disminuirá, compensando así el aumento del voltaje de entrada.

El fenómeno contrario sucede cuando el voltaje de la señal de entrada de FI tiende a disminuir. La



corriente a través de los diodos también disminuirá pero el voltaje de carga no cambia. Al sentirse menos cargado, el transformador aumenta su  $Q$ , aumentando la ganancia del amplificador de FI.

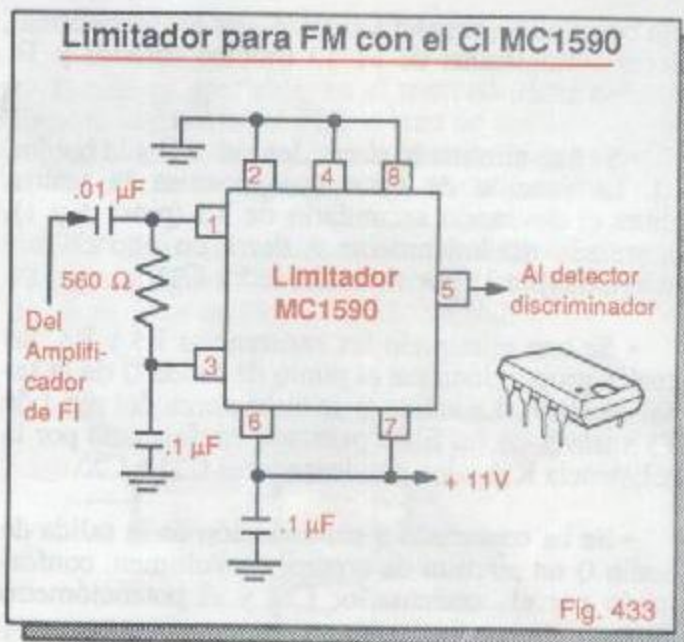
La señal de entrada logra así variar la ganancia del amplificador de FI, modificando dinámicamente la impedancia de carga vista por el mismo. Esto mantiene un voltaje de salida constante, ajeno a los cambios de amplitud de la señal de entrada.

Aunque el detector de relación limita los cambios de amplitud debidos a ruido y espúreas, no limita los cambios debidos a variaciones en la intensidad de la portadora de la señal captada. Estos cambios son ocasionados por desvanecimiento, interferencias, al pasar de una emisora a otra, etc.

Por esta razón los receptores de FM que utilizan detectores de relación emplean algunas veces control automático de ganancia (CAG). El voltaje de CAG lo proporciona el mismo detector. Otros receptores utilizan, además de CAG, un circuito de limitación especializado antes del detector.

En general, el limitador de un receptor de FM es la etapa encargada de recortar el ruido y cualquier modulación de amplitud presente en la señal de entrada. De este modo, únicamente se demodula o detecta la modulación de frecuencia deseada.

Los limitadores utilizan generalmente tubos, transistores o circuitos integrados. En la figura 433 se muestra un ejemplo de un limitador para FM con el CI MC1590 de Motorola, diseñado específicamente para este propósito.

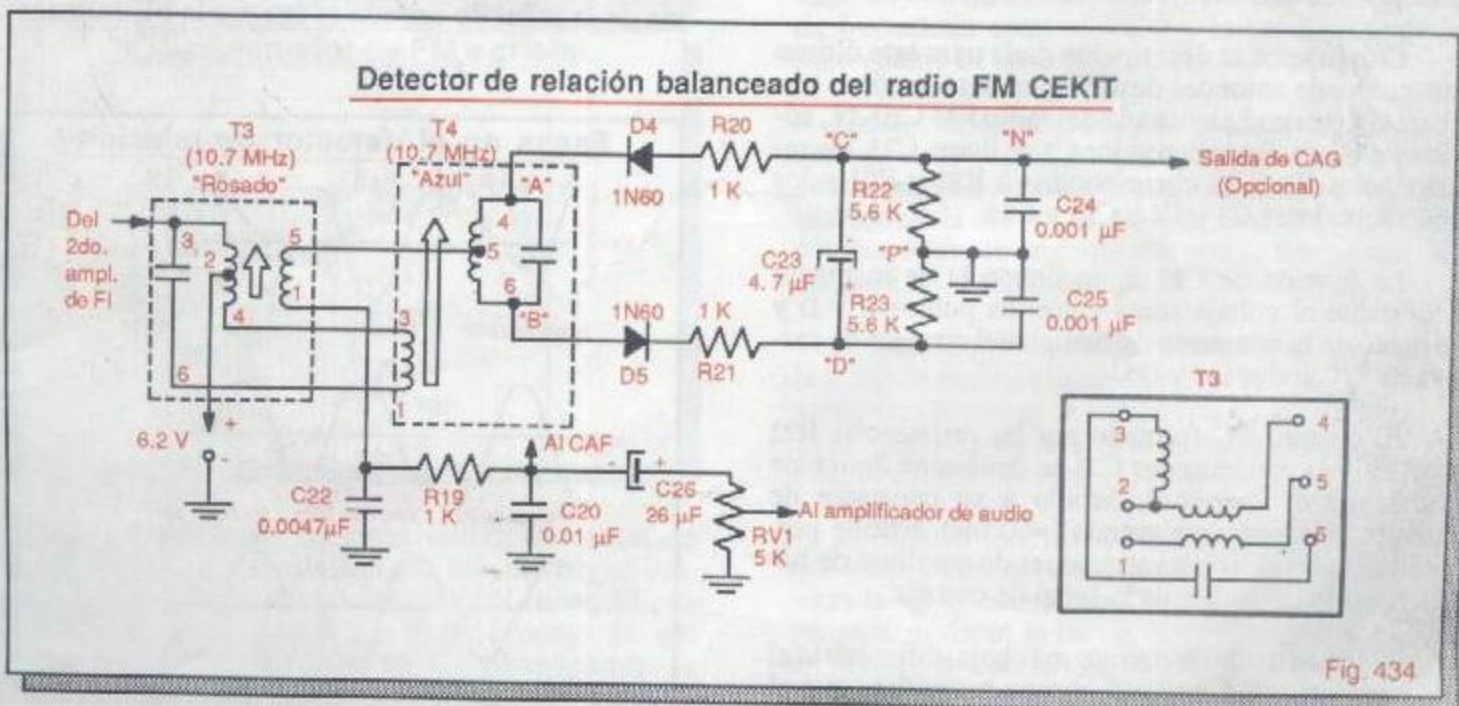


### El detector de relación del radio FM CEKIT

En la figura 434 se muestra el circuito esquemático del detector de relación utilizado en el radio FM CEKIT. El circuito es una versión *balanceada* del detector básico de relación descrito anteriormente.

Con respecto al detector de relación básico de la figura 432, en el detector de relación balanceado del receptor FM CEKIT de la figura 434 se han realizado las siguientes modificaciones:

- Se han reemplazado la bobina L1 y el condensador C1, así como la bobina L2 y el condensador C2, por un circuito de acoplamiento de doble sinto-





nía constituido, respectivamente, por los transformadores sintonizados de FI T3 (núcleo rosado) y T4 (núcleo azul).

- Se han eliminado el condensador C y la bobina L3. La función de estos componentes la realiza ahora el devanado secundario de T3 (pines 5 y 1), conectado dinámicamente a tierra en uno de sus extremos (pin 1) por el condensador C22.

- Se han eliminado las resistencias R5 y R6, las cuales proporcionaban el punto de salida Q de la señal de audio. La salida Q se toma ahora del pin 1 de T3 a través de un filtro pasabajo conformado por la resistencia R19 y los condensadores C22 y C20.

- Se ha conectado a continuación de la salida de audio Q un circuito de control de volumen, conformado por el condensador C26 y el potenciómetro RV1.

- Se han conectado las resistencias R20 y R21 en serie con los diodos D4 y D5, respectivamente. Estos diodos cumplen la misma función de D1 y D2 en el detector básico. R20 y R21 amortiguan la corriente de alta frecuencia que circula a través de D4 y D5.

- Se ha invertido la polaridad de los diodos D4 y D5 y la del condensador C23 con respecto a la que tenían D1, D2 y C5, respectivamente, en el detector de relación básico. La razón de esto es permitir que del punto N se pueda tomar una tensión negativa de CAG (opcional) para otras partes del receptor.

En los demás aspectos, el detector de relación básico se ha mantenido sin modificaciones y la operación y características del circuito de la figura 434 son las mismas del circuito de la figura 432.

Con base en la descripción dada para este último usted puede entonces describir en detalle cómo trabaja el detector balanceado del radio FM CEKIT, sólo que ahora el condensador C5 se llama C23, las resistencias R3 y R4 corresponden a R22 y R23 y los condensadores C3 y C4 a C24 y C25.

La función de C23 sigue siendo la de mantener constante el voltaje suma entre los puntos C y D y establecer la constante de tiempo del circuito de carga de los diodos D4 y D5.

El circuito RC formado por las resistencias R22 y R23 y el condensador C23 se denomina *limitador dinámico de amplitud*, debido a su constante de tiempo relativamente grande ( $\approx 60$  ms). Esto le permite seguir las lentas variaciones de amplitud de baja frecuencia (audio) de la señal de entrada.

Una constante de tiempo más baja dificultaría el alineamiento del circuito porque permitiría que el

detector respondiera también a los cambios rápidos de amplitud provocados por el ruido y a los cambios más lentos de la misma ocasionados por señales espúreas.

El circuito RC constituido por los condensadores C22 y C20 y la resistencia R19 es un filtro pasabajos diseñado para eliminar las componentes de alta frecuencia de la señal de audio, en la misma forma como lo hace el filtro de FI del detector de AM (véase Lección 22).

El secundario de T3 se usa también para acoplar la baja impedancia de entrada del secundario de T4 con la alta impedancia del primario de T3, evitando que este último se cargue excesivamente por acción del detector de relación.

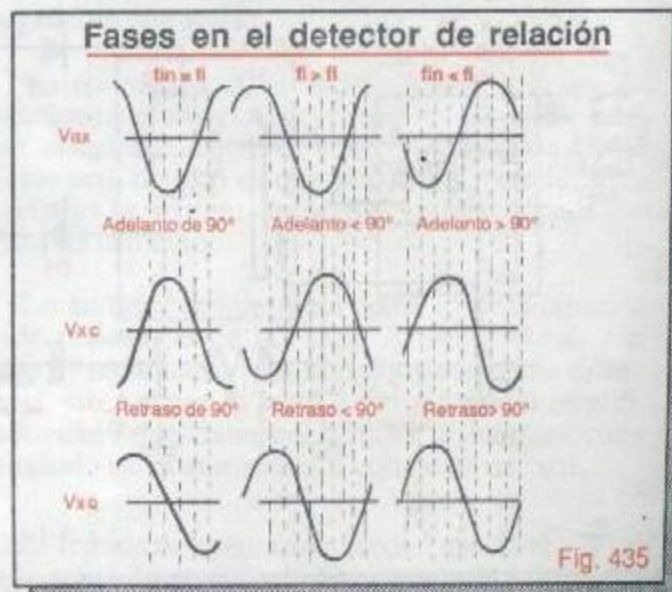
La disposición de los transformadores T3 y T4 permite obtener en el secundario de T4 voltajes inducidos cuyas fases dependen del valor instantáneo de la señal de FI aplicada al primario de T3. La amplitud de estos voltajes inducidos es constante dentro de una amplia gama de frecuencias.

Específicamente, al secundario de T4 le llegan dos señales:

a) La inducida por el primario de T3 (pines 3 y 2) en el secundario de T3 (pines 5 y 1) y aplicada por este último al tap central de T4 (pin 5).

b) La inducida por el primario de T4 (pines 3 y 1), el cual está en serie con el primario de T3.

Los voltajes secundarios de T4 aparecen desfasados  $180^\circ$  entre sí y  $90^\circ$  con respecto al voltaje inducido en el secundario de T3 cuando la frecuencia de la señal de entrada es igual a la FI, en menos





de  $90^\circ$  cuando la frecuencia es mayor y en más de  $90^\circ$  cuando es menor.

En la figura 435 se ilustran estos conceptos. La señal inducida en el secundario de T3 está en fase con la señal de FI suministrada por el segundo amplificador de FI al primario de T3.

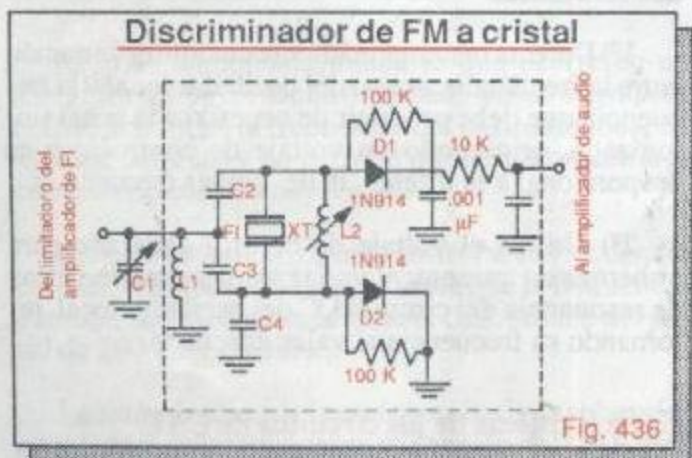
Así mismo, el voltaje en el punto de salida será cero cuando la frecuencia de la señal de entrada sea igual a la FI y tendrá otro valor, positivo o negativo, cuando sea diferente, dependiendo de si la desviación de frecuencia con respecto a la FI es positiva o negativa.

De cualquier modo, la señal de salida (audio) será siempre proporcional a la desviación de frecuencia de la señal de entrada. Por consiguiente, el circuito convierte las variaciones de frecuencia de la señal de FI en una señal de audio equivalente.

Una configuración como la utilizada en el detector de relación de la figura 434 puede también utilizarse con el discriminador de fase de la figura 429. Esto no significa que, en la práctica, sea muy fácil cambiar un detector de relación balanceado en un discriminador de fase y viceversa.

### Otros diseños de detectores de FM

Las dificultades encontradas en el alineamiento y construcción de los discriminadores de fase y de los detectores de relación han inspirado una serie de diseños de detectores de FM prácticamente libres de ajustes. Uno de tales circuitos es el discriminador a cristal que se muestra en la figura 436.

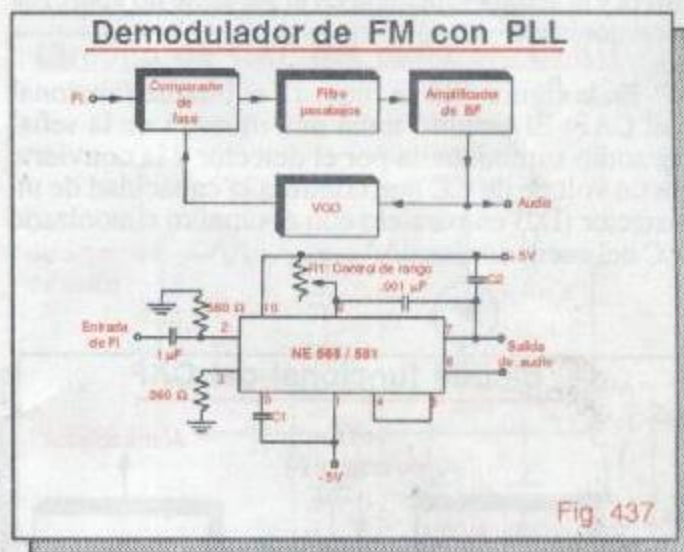


El discriminador a cristal utiliza un cristal de cuarzo (XT) en paralelo con una bobina (L2) en sustitución del circuito de doble sintonía usual. El circuito L1C1 es resonante a la FI del proceso. En general,  $C2=C3$ . El condensador C4 garantiza que se alimenten iguales cantidades de señal a D1 y D2.

### Demodulación de FM con PLL

Desde su aparición en el mercado en forma de circuito integrado, el PLL o lazo de amarre de fase (véase Lección 25) ha revolucionado algunas facetas del diseño de los receptores de radio de FM.

El PLL es, intrínsecamente, un demodulador de FM. En la figura 437 se muestra el circuito práctico de un detector de FM con PLL NE565.



Un PLL consiste de un comparador de fase, un filtro pasabajos, un amplificador de baja frecuencia y un oscilador controlado por voltaje o VCO.

El VCO trabaja a una frecuencia muy próxima a la de la señal de entrada y el comparador de fase produce un voltaje de error proporcional a la diferencia de frecuencia entre el VCO y la señal de entrada. Este voltaje de error se aplica al VCO.

Cualquier cambio en la frecuencia de la señal de entrada es detectado por el comparador y convertido en un voltaje de error que reajusta automáticamente la frecuencia del VCO. De este modo, el VCO permanece siempre enganchado con la frecuencia instantánea de la señal de FI.

Debido a que el voltaje de error es una réplica de la señal de audio utilizada originalmente en la emisora para desplazar la frecuencia de la portadora, el PLL funciona directamente como un detector de FM. El filtro determina el ancho de banda.

El circuito R1C1 determina la frecuencia central del VCO y ésta debe ser igual a la FI de la señal de entrada. El condensador C2 determina el *rango de captura*, es decir, la banda de frecuencias alrededor de la FI dentro de la cual el PLL se engancha con la señal de entrada.

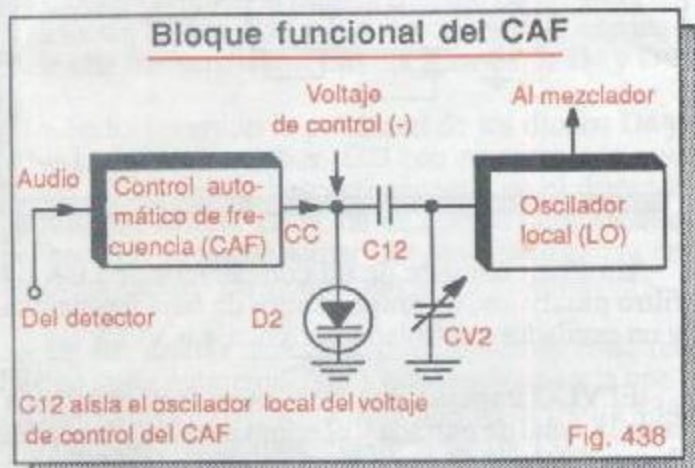


# Control automático de frecuencia (CAF)

## Introducción

La función del circuito de control automático de frecuencia o CAF es mantener constante la frecuencia del oscilador local. La acción del CAF garantiza que la FI tenga siempre su valor correcto de 10.7 MHz y la señal escuchada en el parlante no aparezca desintonizada.

En la figura 438 se muestra el bloque funcional del CAF. El circuito toma una muestra de la señal de audio suministrada por el detector y la convierte en un voltaje de CC que controla la capacidad de un varactor (D2) en paralelo con el circuito sintonizado LC del oscilador local.



En general, un circuito de CAF se compone de dos partes: un detector capaz de transformar las variaciones de frecuencia de la señal de FI en un voltaje de CC de control y una reactancia (condensador o bobina) cuyo valor pueda ser variado mediante este voltaje de control.

En nuestro caso utilizamos un varactor como reactancia variable. El varactor altera la frecuencia del oscilador local lo suficiente como para garantizar que al batirse esta frecuencia con la frecuencia de la portadora sintonizada se produzca nuevamente la frecuencia intermedia correcta de 10.7 MHz.

Por normas legales, la frecuencia de portadora de las emisoras de FM que transmiten en la banda de 88 a 108 MHz debe mantenerse constante durante todo el tiempo que duren sus transmisiones.

El anterior es un requisito básico impuesto a las mismas por el Ministerio de Comunicaciones y

otros organismos encargados de regular este tipo de comunicaciones en cada país o estado. La máxima desviación admisible de la portadora es  $\pm 2$  KHz.

Esta alta estabilidad de la frecuencia de transmisión posibilita el proceso heterodino en el receptor, es decir, el traslado de la información transmitida en una portadora de 88 a 108 MHz a una portadora interna de 10.7 MHz o FI.

Como sabemos, el proceso de heterodinación requiere de dos señales para generar la FI. Una es la señal de RF captada. La otra es la señal del oscilador local. Esta última debe ser también de frecuencia constante y estar siempre 10.7 MHz por encima de la frecuencia de la portadora de RF recibida.

En la práctica, por inestabilidad o distintas circunstancias, la frecuencia del oscilador cambia sin que haya cambiado la frecuencia de la señal de entrada. Cuando esto sucede se percibe en el parlante un efecto de distorsión, como si el radio estuviera mal sintonizado.

Esta distorsión ocurre porque el ancho de banda de la señal de FI (200 KHz) es sólo una pequeña fracción de la frecuencia (2%) de la portadora interna de 10.7 MHz. Cualquier error en la frecuencia del oscilador local causa que las etapas de FI rechacen la señal deseada.

En síntesis, el CAF de un receptor de FM realiza dos funciones:

1º) Detecta instantáneamente cualquier variación entre la frecuencia actual del oscilador local y la frecuencia que debe producir de acuerdo a la señal sintonizada, originando un voltaje de control que es proporcional a la diferencia de ambas frecuencias.

2º) Utiliza el voltaje de control generado para gobernar un varactor y variar así las características de resonancia del circuito LC del oscilador local, retornando su frecuencia al valor adecuado.

## Características de los circuitos de CAF

Como hemos visto, la función del CAF consiste en anular o minimizar las desviaciones de frecuencia del oscilador local con respecto al valor correcto necesario para producir una FI de 10.7 MHz.

Para que el circuito opere eficientemente, su acción debe suspenderse automáticamente cuando se



alcance el valor deseado. En otras palabras, la tensión de control debe actuar de modo que la sintonía no se salga del ancho de banda del canal cuya frecuencia intermedia se pretende resintonizar.

Si esto no fuera así, una vez sintonizado el receptor a una emisora determinada, mantendría la sintonía para una extensión excesiva de frecuencias próximas, incluyendo las que están fuera del canal. Para escuchar una emisora cercana habría entonces que desconectar el radio y resintonizarlo.

En la figura 439 se ilustra la acción del CAF en un receptor de FM. La recta inclinada refleja el comportamiento entre la frecuencia deseada (eje horizontal) y la frecuencia real (eje vertical) del oscilador local en un receptor sin CAF. Obviamente, las dos frecuencias coinciden.



La zona sombreada indica lo que ocurre en un receptor con CAF. Dentro de cada canal o emisora el CAF mantiene la frecuencia del oscilador local en su valor correcto y no permite que se sintonicen frecuencias de canales adyacentes.

Cuando se sintoniza otra emisora, la frecuencia del oscilador local no cambia hasta que la frecuencia deseada, establecida mediante el dial, se sale del canal de 200 KHz en curso.

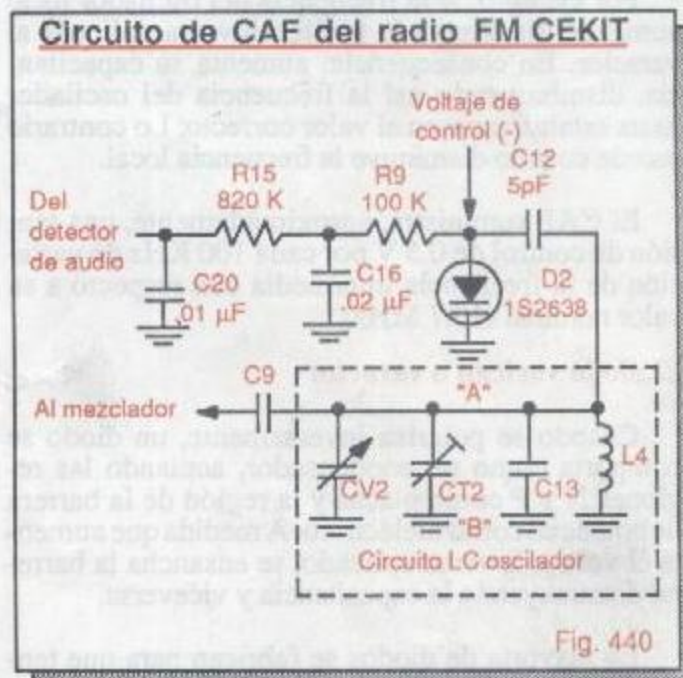
La sintonización de la emisora contigua sobreviene entonces repentinamente y la acción del CAF produce instantáneamente la nueva frecuencia de oscilador requerida.

En los receptores de FM se puede incluir un interruptor para abrir el circuito de CAF y anular su efecto. Esto se hace con el fin de poder sintonizar una señal muy débil próxima a una muy fuerte.

Con el CAF conectado, la sintonización de esta señal marginal sería difícil porque el oscilador tendería a sincronizarse con la señal más fuerte, ignorando la más débil.

## Operación del circuito de CAF del radio FM CEKIT

En la figura 440 se muestra el circuito de control automático de ganancia del radio experimental FM CEKIT. La frecuencia del oscilador local depende de la capacitancia neta entre los puntos A y B.



El funcionamiento del CAF se basa en la acción del diodo varicap o varactor D2 sobre el circuito de frecuencia del oscilador local (L4, CV2, CT2 y C13). Llamaremos a este último *círculo LC oscilador*.

El varactor D2, en serie con el condensador C12 y en paralelo con el circuito LC oscilador, se comporta como un condensador de capacitancia variable controlado por voltaje. El sustituto del varactor en los antiguos receptores a tubos era la llamada *válvula de reactancia*.

Para operar como un condensador variable controlado por voltaje, el diodo varactor D2 debe estar polarizado inversamente. A mayor tensión inversa sobre D2 menor capacidad y viceversa.

La polarización de D2 se obtiene conectando el cátodo a tierra y aplicando a su ánodo una tensión negativa de control proveniente de la salida del detector de audio y filtrada por el circuito pasabajos de las resistencias R15 y R9 y los condensadores C16 y C20.



Una vez sintonizada una emisora, si la frecuencia del oscilador local se desplaza de su valor nominal, la tensión de control aplicada al ánodo también varía. Este cambio de voltaje sobre D2 ocasiona un aumento o disminución de su capacidad.

Esto a su vez modifica la capacidad total del circuito LC oscilador, el cual corrige automáticamente su frecuencia de resonancia y retorna la frecuencia del oscilador local a su valor nominal. Así se suministra a la salida del mezclador una señal de diferencia siempre centrada en 10.7 MHz.

Por ejemplo, si la frecuencia del oscilador local aumenta, disminuye la tensión inversa aplicada al varactor. En consecuencia, aumenta su capacitancia, disminuyendo así la frecuencia del oscilador hasta estabilizarse en el valor correcto. Lo contrario sucede cuando disminuye la frecuencia local.

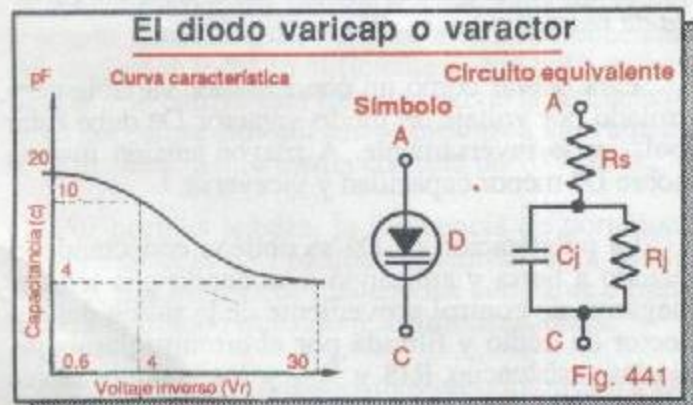
El CAF suministra, aproximadamente, una tensión de control de 0.5 V por cada 100 KHz de variación de la frecuencia intermedia con respecto a su valor nominal (10.7 MHz).

### El diodo varicap o varactor

Cuando se polariza inversamente, un diodo se comporta como un condensador, actuando las regiones N y P como placas y la región de la barrera de potencial como dieléctrico. A medida que aumenta el voltaje inverso aplicado, se ensancha la barrera, disminuyendo la capacitancia y viceversa.

La mayoría de diodos se fabrican para que tengan una capacitancia mínima, excepto los varactores, los cuales se diseñan para proporcionar varios rangos de capacitancias, desde unos pocos pF hasta más de 100 pF.

El valor de la capacitancia se controla variando el ancho de la barrera de potencial mediante un voltaje inverso. En la figura 441 se muestran las características de un diodo varactor típico, similar al utilizado en el CAF del receptor FM CEKIT.



## Continuación Actividad práctica N° 18

### Ensamble de la primera etapa de FI. (Parte 2)

En esta actividad vamos a terminar el armado de la primera etapa de frecuencia intermedia o primer amplificador de FI, distinguido en el plano por el color verde.

### Componentes y materiales necesarios

- 1 Transistor NPN referencia 2SC1390, o C1390 o 2N2222. Q2.
- 1 Resistencia de 100 K $\Omega$ , 1/4W, 5%. (café, negro, amarillo, dorado). R6.
- 1 Condensador de cerámica de 0.02  $\mu$ F/50V. C3.

### Alambre de conexión

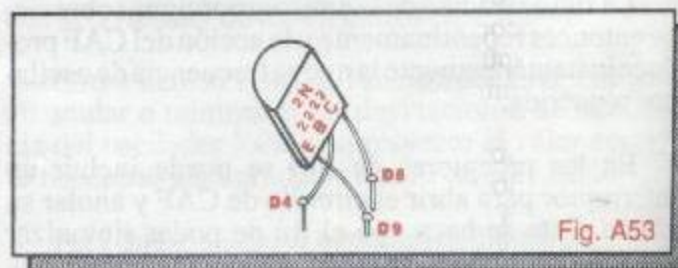
**Paso 1:** Tome la resistencia R6 de 100 K $\Omega$  e instálela entre las puntillas 43 y D3 formando ángulo recto hacia la izquierda con el terminal inferior para unir las puntillas D3 y D2.

**Paso 2:** Con el alambre de conexión una las puntillas D3, D5, D6, D7 y D18. Haga un arco entre el tramo D6 y D7 para que no haga corto con el conductor de tierra que une las puntillas 7 y 8.

**Paso 3:** Con el alambre de conexión una las puntillas D1 y D4 formando un arco para evitar un corto con la resistencia R6.

**Paso 4:** Tome el condensador C3 de 0.02  $\mu$ F/50V que puede estar marcado como 203, 223 ó 0.02 e instálelo entre las puntillas D3 y 7. Si no alcanzan los terminales, se puede agregar alambre de conexión a uno de ellos para completarlo.

**Paso 5:** Tome el transistor C1390 e instálelo en la posición indicada para Q2 en las puntillas D4, D8 y D9. Fíjese muy bien en la posición de cada uno de los terminales, emisor (E), base (B) y colector (C). Si el transistor es un reemplazo, como el 2N2222, conéctelo como se indica en la figura A53.





## Operación completa y ensamble del radio FM CEKIT

### Introducción

En esta lección se resume la operación completa del receptor experimental de FM CEKIT y se describe el proceso de ensamble por etapas del mismo. Para hacerlo, se suministra el plano general del radio, el diseño de su circuito impreso y toda la información necesaria para su calibración y ajuste.

El ensamble de este receptor de FM le proporcionará a los estudiantes de este curso un gran conocimiento y experiencia sobre la práctica con los radios de FM, aspecto necesario en todo curso de electrónica: sin practicar no se aprende.

El estudio detallado de cada etapa ha sido ya cubierto en las lecciones anteriores. En esta lección se hace particular énfasis en los aspectos prácticos y se supone que el lector está familiarizado con la operación de todas las etapas, a excepción de la fuente de alimentación y el amplificador de audio.

Como equipo mínimo de prueba se necesitará un multímetro. Muchas de las pruebas de ajuste sugieren el uso de un generador de RF-FM y un osciloscopio. Si no posee estos instrumentos no se desanime. Puede utilizar como fuente de señal un receptor de FM que esté trabajando correctamente.

### El receptor en bloques

En la figura 442 se muestra el diagrama de bloques del receptor de FM CEKIT. El circuito está for-

mado básicamente por un amplificador de RF, un mezclador, un oscilador local, dos amplificadores de FI, un detector de FM, un circuito de CAF, un amplificador de audio y una fuente de alimentación.

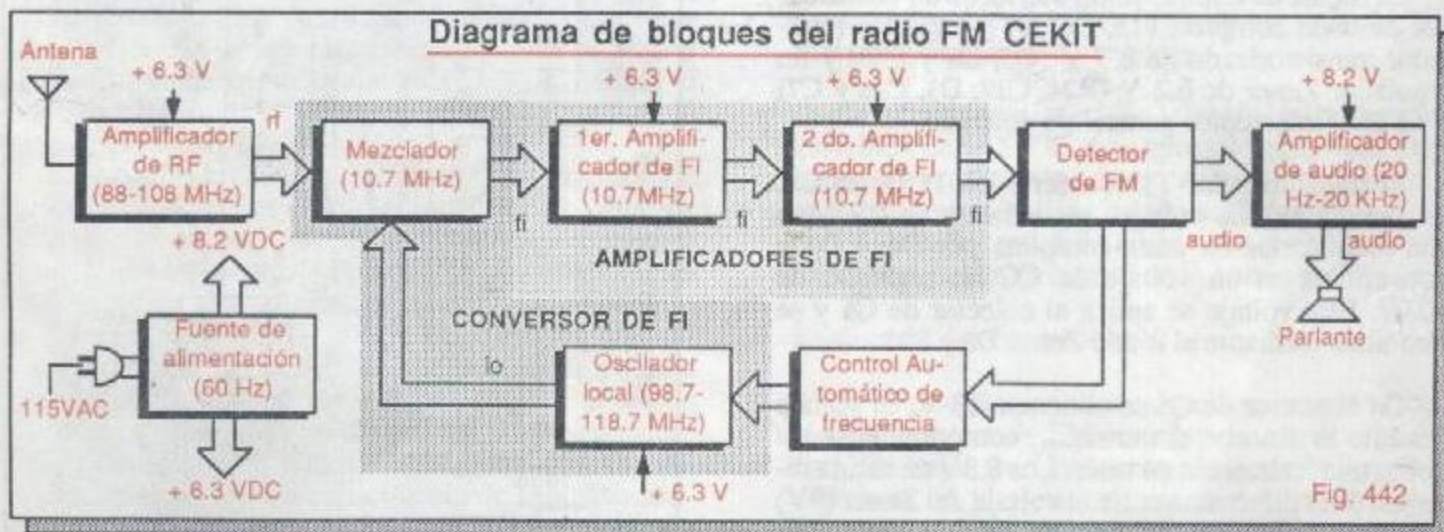
A la antena convergen las señales provenientes de las diferentes estaciones del área. La antena convierte las ondas electromagnéticas interceptadas en señales eléctricas equivalentes y las suministra al amplificador de RF.

El amplificador de RF recibe las señales de FM provenientes de la antena, selecciona una en particular, por ejemplo la de 100 MHz, la amplifica y la suministra al mezclador.

El oscilador local y el mezclador constituyen el conversor de FI. La función del conversor es trasladar la modulación original de cualquier portadora de FM sintonizada en la banda de 88 a 108 MHz a una portadora interna fija de 10.7 MHz llamada *frecuencia intermedia* o FI.

El mezclador heterodina la señal proveniente del amplificador de RF (rf) con la onda continua producida por el oscilador local (lo) y obtiene la señal de FI de la diferencia de ambas frecuencias ( $fi = lo - rf$ ). La frecuencia local es siempre 10.7 MHz mayor que la de la portadora de rf captada.

Los dos amplificadores de FI amplifican la señal de FI de salida del conversor y la suministran al detector o demodulador de FM.





El detector recibe la señal de FM proveniente del segundo amplificador de FI, extrae la información de audio y la suministra al amplificador de audio. También limita la amplitud de la señal de FI y proporciona la tensión de control del CAF.

El CAF o control automático de frecuencia convierte la señal de salida del detector en un nivel de CC que se aplica a un diodo varactor y controla la frecuencia del oscilador local, manteniéndola constante y evitando que el receptor se desintonice.

El amplificador de audio recibe la señal de salida del detector, la amplifica y le suministra la potencia suficiente para impulsar el parlante.

El parlante convierte la señal eléctrica de audio en una información sonora audible que es una réplica de la originada en la emisora.

La fuente de alimentación convierte los 115 V de CA de la red pública en un voltaje de CC regulado de 8.3 V para el amplificador de audio y en otro de 6.2 V para los amplificadores de RF y FI y el convertidor. El detector y el CAF son pasivos y no requieren de fuente de alimentación.

## El receptor en detalle

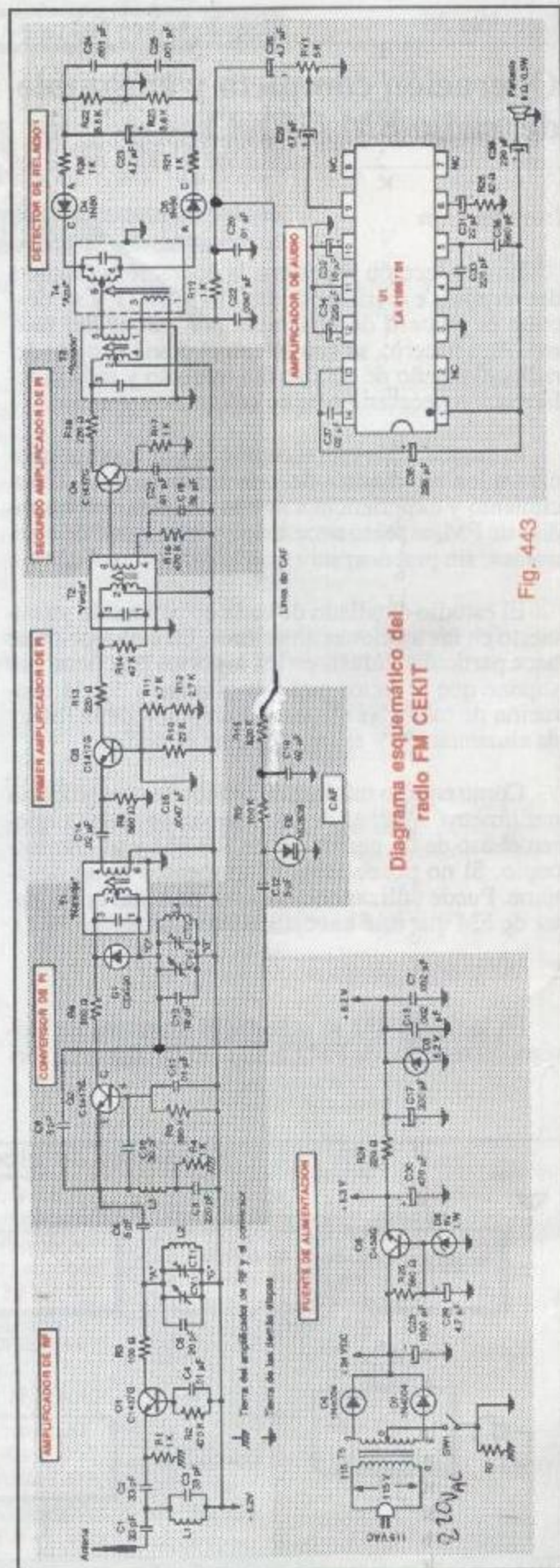
En la figura 443 se muestra el circuito esquemático completo del receptor de FM CEKIT. Se observa claramente la delimitación entre las 7 etapas diferentes de que consta el radio. Todos los componentes aparecen con sus valores y referencias correspondientes.

También se destacan componentes claves como el circuito integrado amplificador de audio (U1), los dispositivos semiconductores (Q1, Q2, etc.), los transformadores de FI (T1, T2, etc.), el parlante y otros.

La fuente de alimentación consta de un rectificador de onda completa (T5, D6, D7 y C28), un regulador transistorizado de 8.3 V (Q5, D8 y C30) y un regulador Zener de 6.2 V (R24, C17, D3, C18 y C7). SW1 es el interruptor general de potencia.

El transformador T5 convierte los 115V de CA de entrada en dos voltajes secundarios de 9V que son rectificadas en onda completa por D6 y D7 y convertidos en un voltaje de CC no regulado de  $\approx 24V$ . Este voltaje se aplica al colector de Q5 y se estabiliza mediante el diodo Zener D8 y R25.

En el emisor de Q5 se obtienen 8.3 V. El voltaje restante lo absorbe el transistor, comportándose así como una resistencia en serie. Los 8.3V de salida resultan de la diferencia entre el voltaje del Zener (9V) y la caída directa en la unión BE de Q5 (0.7 V).





El voltaje de salida del primer regulador (8.3V) alimenta el amplificador de audio y sirve también como voltaje de entrada del segundo regulador. El diodo Zener D3 convierte estos 8.3V en un voltaje estabilizado de 6.2V que alimenta los amplificadores de RF y FI y el conversor. El voltaje restante (2.1V) lo absorbe la resistencia R24.

Los condensadores electrolíticos C28, C30 y C17 eliminan las variaciones de baja frecuencia (ripple o rizado) de los voltajes de CC obtenidos y los condensadores cerámicos C18 y C7 las variaciones de alta frecuencia (RF). La resistencia R7 aísla la tierra de las etapas de RF (amplificador y conversor) de la tierra de las demás etapas.

El tema de las fuentes de alimentación se discute con mayor detalle en la Lección 36.

El amplificador de audio lo constituyen el circuito integrado U1 y componentes asociados. Los condensadores C26 y C27 transfieren la señal de salida del detector a la entrada de audio (pin 9). El potenciómetro RV1 actúa como divisor de señal y es el control de volumen del receptor.

Los condensadores C33 y C36 cumplen la función de realimentar la señal de salida de audio disponible en el pin 1 a los pines 4 y 5. El parlante se conecta al pin 1 a través del condensador C38. El circuito RC formado por R26 y C31 provee amplificación uniforme para todas las frecuencias.

La tensión de alimentación de +8.2 V se aplica a los pines 14 (Vcc) y 3 (tierra). El condensador C37 es un filtro de RF. C35, C34 y C32 son filtros de rizado. Los pines 2, 7 y 8 no se utilizan.

Los amplificadores de audio con circuitos integrados se tratan con detalle en la Lección 38.

El detector o demodulador de FM lo constituyen los transformadores sintonizados de FI T3 y T4, el filtro pasabajos C22-R19-C20, los diodos detectores D4 y D5, las resistencias amortiguadoras R20 y R21, el circuito limitador dinámico C23-R22-R23 y el divisor capacitivo C24-C25.

La configuración empleada es un detector de relación balanceado. El detector recibe su señal de entrada del segundo amplificador de FI a través del transformador de acoplamiento T3. La señal de salida se aplica al amplificador de audio y al CAF.

El circuito de CAF lo constituyen el circuito pasabajos de dos etapas C20-R15-C16-R9, el diodo de capacitancia variable o varactor D2 y el condensador de desacople C12. La tensión de control proviene del detector. La capacitancia de salida se aplica en paralelo al circuito tanque del oscilador local.

El segundo amplificador de FI es el transistor Q4, conectado en la configuración emisor común y trabajando en clase A. La carga es el transformador sintonizado T3. Las resistencias R16, R17 y R18 son de polarización. Los condensadores C19 y C21 son de desacople de RF.

El primer amplificador de FI es el transistor Q3, conectado en la configuración base común y trabajando en clase A. La carga es el transformador sintonizado T2 y la resistencia R14. Las resistencias R8, R10, R11, R12 y R13 son de polarización. Los condensadores C14 y C15 son de desacople de RF.

El conversor de FI es el transistor Q2, conectado en la configuración base común y trabajando en un modo no lineal. La carga es el transformador sintonizado T1. El circuito tanque L4-CT2-CV2-C13 determina la frecuencia del oscilador local. El circuito L3-C8 es una trampa de FI.

Las resistencias R4, R5 y R6 son de polarización. Los condensadores C6, C9 y C11 son de desacople de RF. El diodo D1 es un limitador de amplitud. El condensador C10 es de estabilización.

El amplificador de RF es el transistor Q1, conectado en la configuración base común y trabajando en clase A. La carga de salida es el circuito sintonizado de banda estrecha L2-CT1-CV1. La carga de entrada es el circuito de banda ancha L1-C3.

Las resistencias R1, R2 y R3 son de polarización. Los condensadores C1, C2 y C4 son de desacople de RF. El condensador CV1, acoplado mecánicamente al condensador CV2 del conversor, es el control de sintonía del receptor. Asociada al amplificador de RF está la antena.

El condensador CV1 permite sintonizar cualquier emisora de la banda de FM (88 a 108 MHz) captada por la antena. El condensador CV2 controla automáticamente la frecuencia del oscilador local (LO) entre 98.7 y 118.7 MHz para que sea siempre 10.7 MHz mayor que la sintonizada.

La antena es una sonda telescópica de longitud variable entre 65 y 85 cms aproximadamente. También se puede utilizar como antena un alambre de cobre de longitud fija cortado a 75 cms. Este valor es 1/4 de la longitud de onda correspondiente a 98 MHz, la frecuencia central de la banda de FM.

### Ensamble del receptor de FM

Se describe a continuación el proceso de ensamble del receptor de FM por etapas en una tarjeta de circuito impreso. Comenzaremos por la fuente de alimentación y terminaremos en el amplificador de RF, pasando por los demás circuitos del receptor.



Circuito impreso del radio FMCEKIT. Lado del cobre tamaño real

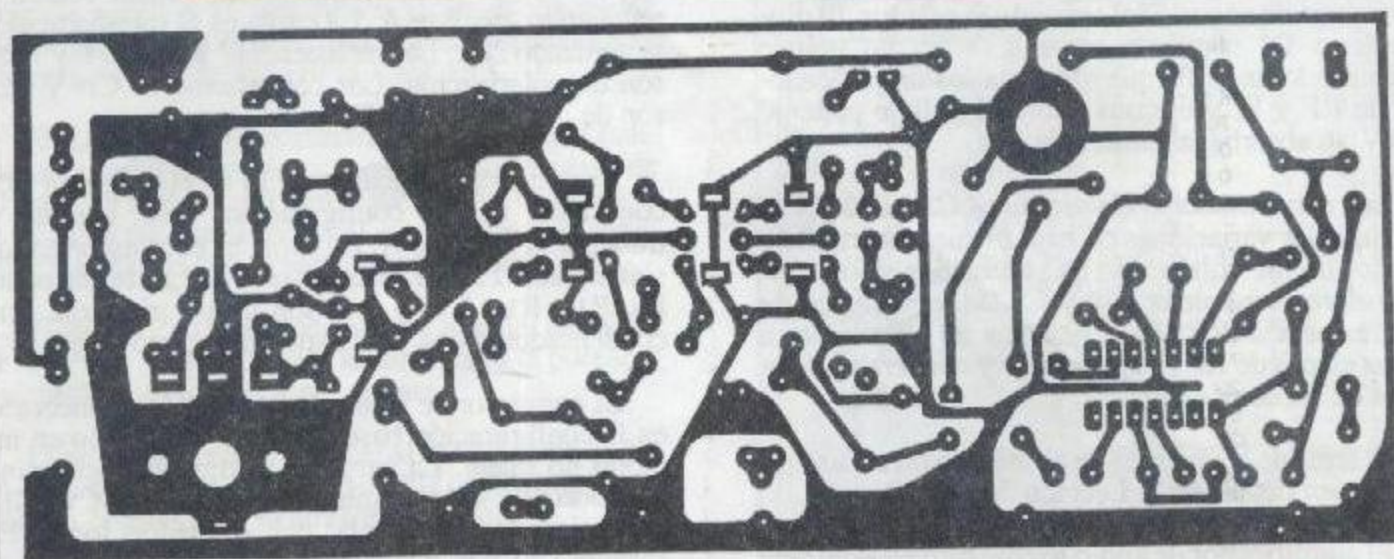


Fig. 444

En la figura 444 se muestra el circuito impreso completo del radio FM CEKIT visto por el lado del cobre. Todos los componentes, incluyendo los controles de sintonía y de volumen, se alojan en esta tarjeta, a excepción del transformador de potencia, la antena y el parlante que son externos a la misma.

ta por el lado de los componentes. En la Tabla 1 se relaciona la lista completa de materiales y su referencia en el plano general de la figura 443.

**Nota:** El circuito impreso del receptor de FM CEKIT lo puede elaborar usted mismo, siguiendo por ejemplo las instrucciones del Kit K550 de CEKIT, o lo puede solicitar directamente a CEKIT. Todos los componentes son de fácil consecución.

En la figura 445 se muestra el aspecto que presenta la tarjeta de circuito impreso del receptor vis-

Circuito impreso del radio FM CEKIT. Lado de los componentes

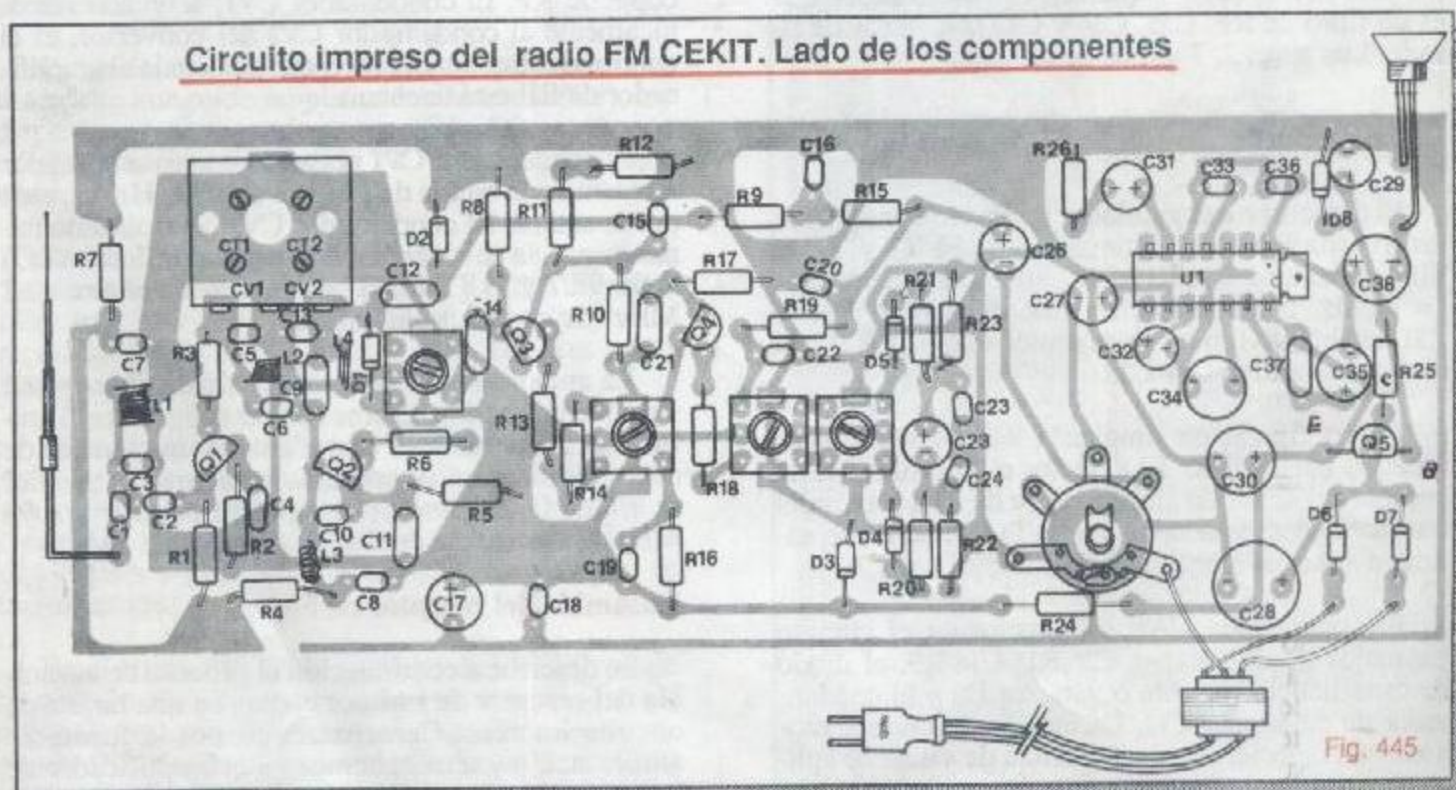


Fig. 445



**Tabla 1. Lista general de componentes y materiales del radio experimental FM CEKIT**

**Resistencias fijas de 1/4W, 5 %**

- 6 Resistencias de 1K (R1, R4, R17, R19, R20, R21).
- 2 Resistencias de 470 K (R2, R16).
- 3 Resistencias de 100  $\Omega$  (R3, R6, R7).
- 1 Resistencia de 390 K (R5).
- 2 Resistencias de 560  $\Omega$  (R8, R25).
- 1 Resistencia de 100 K (R9).
- 1 Resistencia de 27 K (R10).
- 1 Resistencia de 4.7 K (R11).
- 1 Resistencia de 2.7 K (R12).
- 3 Resistencias de 220  $\Omega$  (R13, R18, R24).
- 1 Resistencia de 47 K (R14).
- 1 Resistencia de 820 K (R15).
- 2 Resistencias de 5.6 K (R22, R23).
- 1 Resistencia de 82  $\Omega$  (R26).

**Resistencias variables**

- 1 Potenciómetro lineal o logarítmico de 5 K (RV1) con interruptor (SW1) y perilla.

**Condensadores fijos de cerámica o poliéster de 50V**

- 3 Condensadores de 33 pF (C1, C2, C3).
- 5 Condensadores de .01  $\mu$ F (C4, C11, C19, C20, C21).
- 1 Condensador de 20 pF (C5).
- 3 Condensadores de 5 pF (C6, C9, C12).
- 5 Condensadores de .02  $\mu$ F (C7, C14, C16, C18, C37).
- 2 Condensadores de 220 pF (C8, C33).
- 1 Condensador de 30 pF (C10).
- 1 Condensador de 18 pF (C13).
- 2 Condensadores de .0047  $\mu$ F (C15, C22).
- 2 Condensadores de .001  $\mu$ F (C24, C25).
- 1 Condensador de 560 pF (C36).

**Condensadores variables**

- 1 Condensador de sintonía para FM (CV1) con perilla o dial.

**Condensadores electrolíticos**

- 4 Condensadores de 220  $\mu$ F/10V (C17, C34, C35, C38).
- 4 Condensadores de 4.7  $\mu$ F/10V (C23, C26, C27, C29).
- 1 Condensador de 1000  $\mu$ F/16V (C28).
- 1 Condensador de 470  $\mu$ F/10V (C30).
- 1 Condensador de 22  $\mu$ F/10V (C31).
- 1 Condensador de 10  $\mu$ F/10V (C32).

**Bobinas de núcleo de aire**

- L1: Alambre #20: 5 espiras. Diámetro del núcleo: 4mm.
- L2: Alambre #20: 4 espiras. Diámetro del núcleo: 4 mm.
- L3: Alambre #20: 12 espiras. Diámetro del núcleo: 4 mm o Alambre #23: 20 espiras. Diámetro del núcleo: 3 mm.
- L4: Alambre #19: 3 espiras. Diámetro del núcleo: 4 mm.

**Transformadores sintonizados de FI para FM**

- 1 Transformador de FI núcleo naranja, 5 pines (T1).
- 1 Transformador de FI núcleo verde, 5 pines (T2).
- 1 Transformador de FI núcleo rosado, 6 pines (T3).
- 1 Transformador de FI núcleo azul, 5 pines (T4).

**Transformadores de potencia**

- T5: Entrada=115V, Salida=18V, con tap central. Potencia=2VA. (Omega ODC110 o similar).

**Diodos**

- 1 Diodo de conmutación CDG00 o ECG177 (D1).
- 1 Diodo Varicap o Varactor 1S2638 o ECG611 (D2).
- 1 Diodo Zener de 6.2V, 1 W (D3)\*.
- 2 Diodos detectores de germanio 1N60 (D4, D5).
- 2 Diodos rectificadores 1N4004 (D6, D7).
- 1 Diodo Zener de 9.0 V, 1W (D8)\*\*.

\* ECG137A o similar

\*\* ECG139A o similar

**Transistores NPN**

- 4 Transistores C1417G o BF194 (Q1, Q2, Q3, Q4).
- 1 Transistor C458G (Q5) o TIP31.

**Circuitos integrados**

- 1 CI LA4100 ó LA4101 ó ECG1180 (U1) con base de 14 pines.

**Accesorios**

- Plaqueta de circuito impreso de 77 x 192 mm<sup>2</sup>.
- Parlante de 8 $\Omega$ , 0.25 a 1 W.
- Antena telescópica de FM o alambre de 75 cm.
- Soldadura de aleación 40/60 (40% de estaño, 60% de plomo).
- Cordón de potencia de 115 V.
- 1 Caja plástica o metálica de proyectos (opcional).
- Cable de conexiones #20.

**Heramientas**

- 1 Cautín de 25 a 35 W.
- 1 Pinza de corte lateral (cortafíos).
- 1 Pinza larga de punta plana.
- 1 Destornillador plástico de pala para ajuste de transformadores de FI.

**Instrumentos**

- 1 Multímetro digital o análogo.
- 1 Generador de FM o de RF o 1 Radio de FM en servicio.
- 1 Osciloscopio de 20 MHz (opcional).

**Recomendaciones generales para el ensamble**

Instale los componentes siguiendo el orden establecido para evitar contratiempos y facilitar la identificación de fallas. Utilice las pinzas planas para doblar los terminales a la longitud adecuada y los cortafíos para eliminar el alambre excedente.

Sea metódico. No continúe con la siguiente etapa hasta no estar seguro del correcto funcionamiento de la etapa que está armando. La mayor parte de las fallas en el armado son causadas por falta de cuidado en la instalación de los componentes y soldaduras deficientes o "frías", entre otros factores.



Antes de instalar los componentes de cada etapa, realice un rápido chequeo de los mismos con el multímetro para asegurarse de que no estén internamente abiertos o en cortocircuito. Si éste es el caso, reemplácelos. Recuerde:

a) Las resistencias presentan un valor de acuerdo a su código. La resistencia de los potenciómetros es fija entre sus extremos y continuamente variable entre el cursor y cualquier extremo, dependiendo de la posición del eje.

b) Los diodos y uniones BE y BC de los transistores presentan una alta resistencia en inverso y una baja resistencia en directo. Si posee o tiene acceso a un probador de transistores y diodos, el chequeo será más exacto.

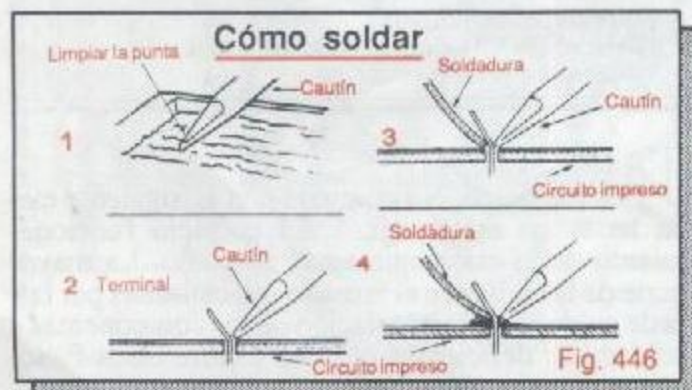
c) El alambre que constituye las bobinas y los transformadores tiene una muy baja resistencia interna. En un transformador, la resistencia entre cualquier terminal del primario y cualquier terminal del secundario o entre éstos y el blindaje debe ser muy alta.

d) La resistencia interna de un condensador cerámico es muy alta, prácticamente un circuito abierto. Con un capacímetro podrá medir su valor exacto.

e) Los condensadores electrolíticos se cargan rápidamente al voltaje de la pila interna del óhmetro y luego comienzan a descargarse, a una velocidad que depende de su valor. A mayor valor, más lenta es la descarga y viceversa.

f) No intente probar el circuito integrado con el multímetro porque lo puede destruir internamente o causarle averías irreparables.

Para obtener buenas soldaduras, limpie siempre la punta del cautín antes de cada nuevo punto y asegúrese de que las superficies a unir estén limpias. Caliente primero el terminal a soldar y luego acerque la soldadura hasta que se derrita y forme un montículo. En la figura 446 se resume el proceso.



Antes de comenzar a soldar, estañe la punta del cautín para evitar su oxidación. Límpiela con una esponja húmeda o con una esponjilla y aplique soldadura hasta formar una capa delgada y uniforme.

Mientras suelda, aplique sólo la cantidad de calor necesaria para permitir que la soldadura fluya uniformemente en la unión, sin levantar el cobre ni calentarse excesivamente el componente. Retire entonces el cautín. Asegúrese de no mover el componente hasta que la soldadura se haya enfriado.

Por seguridad, no realice soldaduras con la energía conectada al radio y aisle adecuadamente los terminales del transformador una vez soldados para minimizar el riesgo de un "shock" eléctrico.

Para la instalación del circuito integrado, suelde primero la base de 14 pines al circuito impreso y luego monte sobre ella el integrado. La utilización de una base facilita su montaje y reemplazo.

Si una etapa no le funciona como debe ser, revise cuidadosamente todas las conexiones guiándose por el diagrama esquemático. Efectúe pruebas de continuidad entre los terminales que comparten un punto común del circuito impreso para verificar malos contactos o roturas en el cobre.

Realice con el multímetro todas las medidas que le sean posible e interprételas para localizar la causa de la falla. Si posee un osciloscopio y un generador de señales, el seguimiento de la falla será más sencillo. Verifique que los voltajes de la fuente estén alimentando adecuadamente cada etapa.

En la Lección 41 se trata en detalle el tema de la reparación de radios de FM.

Cuando utilice un radio de FM en servicio como fuente de señal, utilice un condensador en serie de más de 50pF y cable blindado para transferir esa señal al radio bajo prueba. La línea de blindaje debe unir las tierras de ambos receptores.

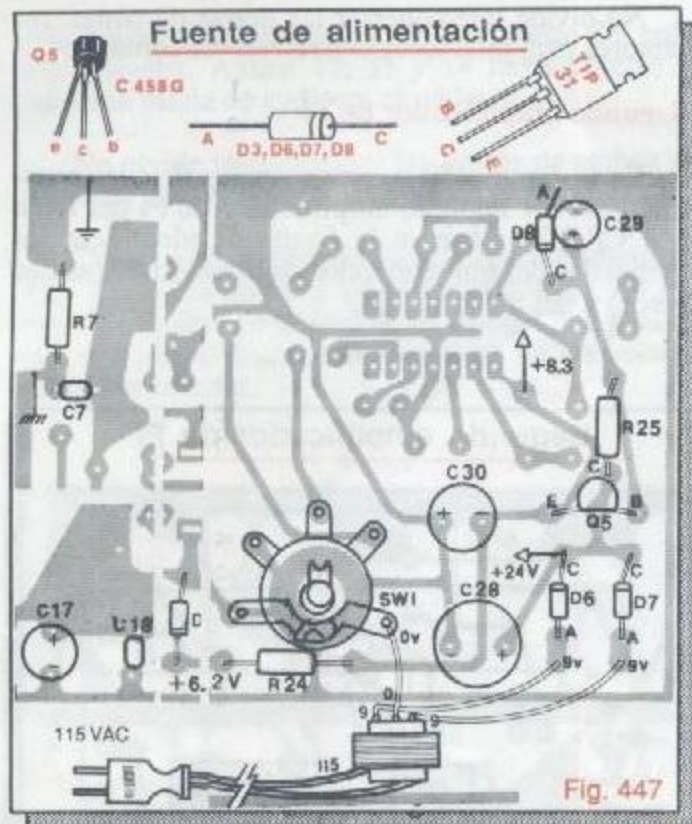
Una vez finalizado el ensamble y ajuste de su radio, constrúyale algún tipo de contenedor o chasis de plástico, madera o metálico, para protegerlo y darle una apariencia firme de producto terminado.

## Fuente de alimentación

En la figura 447 se muestran los detalles constructivos de la fuente de alimentación del radio FM CEKIT. Observe la forma de identificar los terminales del transformador de potencia T5, del transistor Q5 y de otros componentes especiales.

Para probar la operación de la fuente, conecte el cordón de potencia a la red de 115VAC y accione el





interruptor SW1. Ajuste el multímetro como voltímetro de CC en la escala "30VDC".

Conecte la punta negativa a tierra y toque con la punta positiva el colector, la base y el emisor de Q5 y el cátodo de D3. Consigne los valores obtenidos. La tabla 2 puede servirle de guía. Note que el voltaje en el emisor de Q5 es algo mayor de 8.3V debido a que la fuente está sin carga.

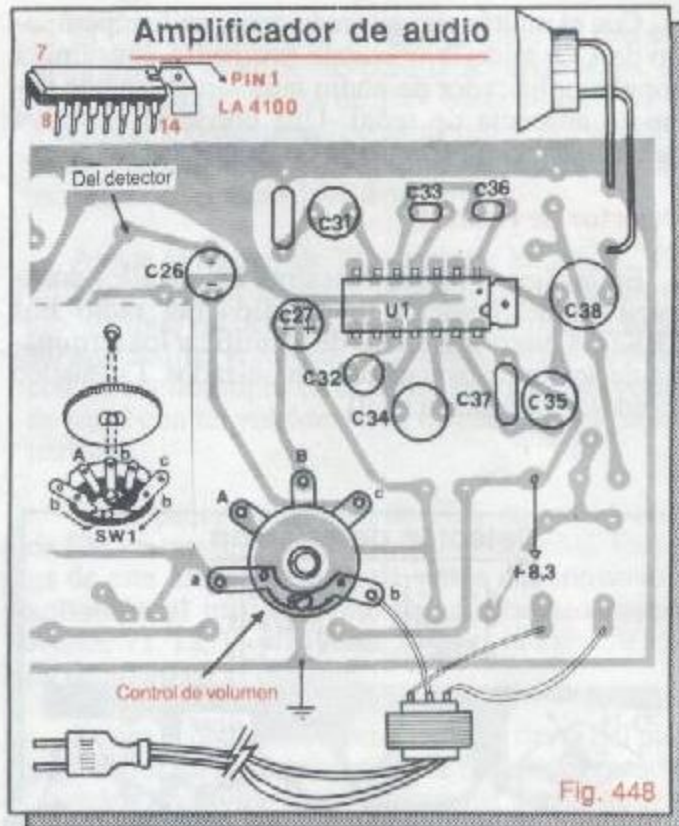
V <sub>CO5</sub>	V <sub>BQ5</sub>	V <sub>EQ5</sub>	V <sub>D3</sub>
> 18 V	9.1 V	> 8.3 V	6.2 V

Tabla 2

### Amplificador de audio

En la figura 448 se muestran los detalles constructivos del amplificador de audio del radio FM CEKIT. Observe la forma de identificar los pines del CI y la manera de conectar el control de volumen. El CI va montado en la base de 14 pines para facilitar su remoción o reemplazo.

Para probar la operación de la etapa, accione el interruptor SW1 y mida nuevamente los voltajes en los terminales del transistor Q5 de la fuente. El am-



plicador de audio actúa como carga del regulador de 8.3 V. Este debe ser el valor de voltaje medido en el emisor de Q5.

Utilizando un generador de audio o el inyector de señales construido en la actividad práctica N° 10, inyecte una señal de audio a la entrada del amplificador. Deberá escucharse un tono en el parlante y su intensidad debe aumentar o disminuir dependiendo de la posición del control de volumen.

Con el multímetro ajustado como voltímetro de CC, mida los voltajes en los pines del circuito integrado U1, primero sin señal de entrada (control de volumen al mínimo) y luego con señal (control de volumen en una posición intermedia).

La tabla 3 le servirá de guía para tener una idea del orden de magnitud de los voltajes que debe obtener.

PIN	1	2	3	4	5	6	7
Volt.	4.1	0.	0.	5.3	0.8	4.1	0 V

PIN	8	9	10	11	12	13	14
Volt.	3.5	4.1	4.1	0	8.0	8.1	8.2 V

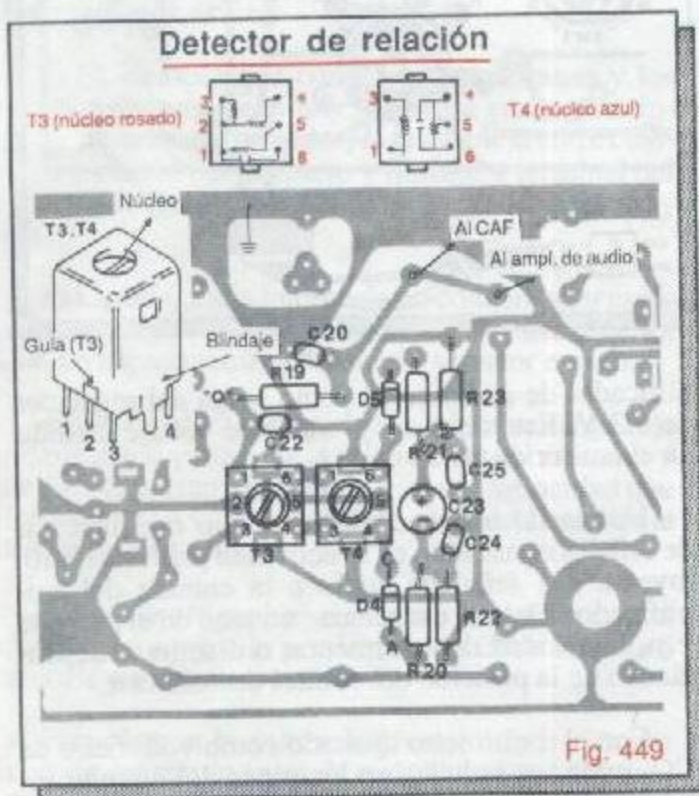
Tabla 3



Con el multímetro ajustado como miliamperímetro de CC, mida la corriente promedio consumida por el amplificador de audio tanto en presencia como en ausencia de señal. Una corriente excesiva puede indicar una condición de cortocircuito.

### Detector de relación

En la figura 449 se muestran los detalles constructivos del detector de relación del radio FM CEKIT. Observe la forma de identificar los terminales de los transformadores sintonizados T3 (núcleo rosado) y T4 (núcleo azul).



Para la prueba de esta etapa, inyecte una señal de FM de 10.7 MHz al terminal de entrada (pin 3 de T3). Deberá escuchar un tono en el parlante. Si suspende la modulación, el tono deberá desaparecer.

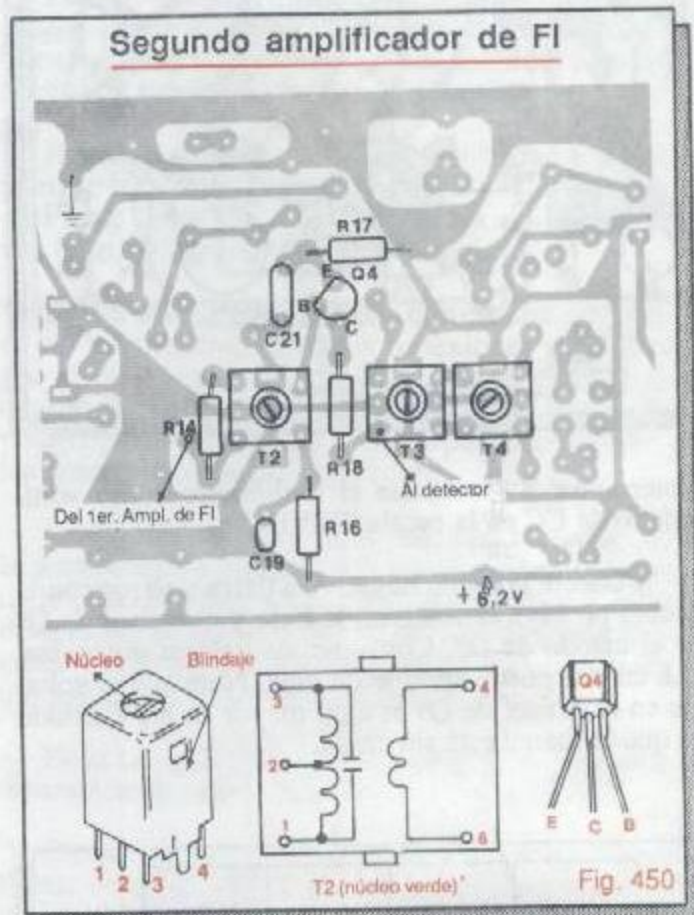
Ajuste el núcleo de T3 y T4 hasta obtener la máxima señal de salida de audio. El tono escuchado en el parlante deberá alcanzar su máximo volumen. Visualice la señal de salida con un osciloscopio en el punto Q o mida el voltaje de señal con un voltímetro de CA en paralelo con el parlante.

Si no posee generador de FM, utilice un radio de FM en servicio como generador de señal. Extraiga de este último la señal de salida del segundo amplificador de FI y aplíquelo al mismo punto del radio bajo prueba. Ajuste T3 y T4 hasta obtener la máxima salida de audio en el parlante.

No olvide interconectar las tierras de ambos receptores para establecer una referencia común.

### Segundo amplificador de FI

En la figura 450 se muestran los detalles constructivos del segundo amplificador de FI del radio FM CEKIT. Observe la forma de identificar los terminales del transformador sintonizado T2 (núcleo verde) y del transistor Q4.



El procedimiento de prueba y ajuste de esta etapa es similar al utilizado para el detector. Inyecte una señal de 10.7 MHz modulada en frecuencia al terminal de entrada (pin 3 de T2). Deberá escuchar un tono en el parlante. Si suspende la modulación, el tono deberá desaparecer.

Ajuste el núcleo de T2 y reajuste los de T3 y T4 hasta obtener la máxima señal de salida de audio. El tono escuchado en el parlante deberá alcanzar su máximo volumen. Visualice la señal de salida con el osciloscopio o mida el voltaje de señal con el voltímetro de CA en paralelo con el parlante.

Si no posee generador de FM, utilice un radio de FM en servicio como generador de señal. Extraiga de este último la señal de salida del primer ampli-



ficador de FI y aplíquelo al mismo punto del radio bajo prueba. Ajuste T2, T3 y T4 hasta obtener la máxima salida de audio en el parlante.

No olvide interconectar las tierras de ambos receptores para establecer una referencia común.

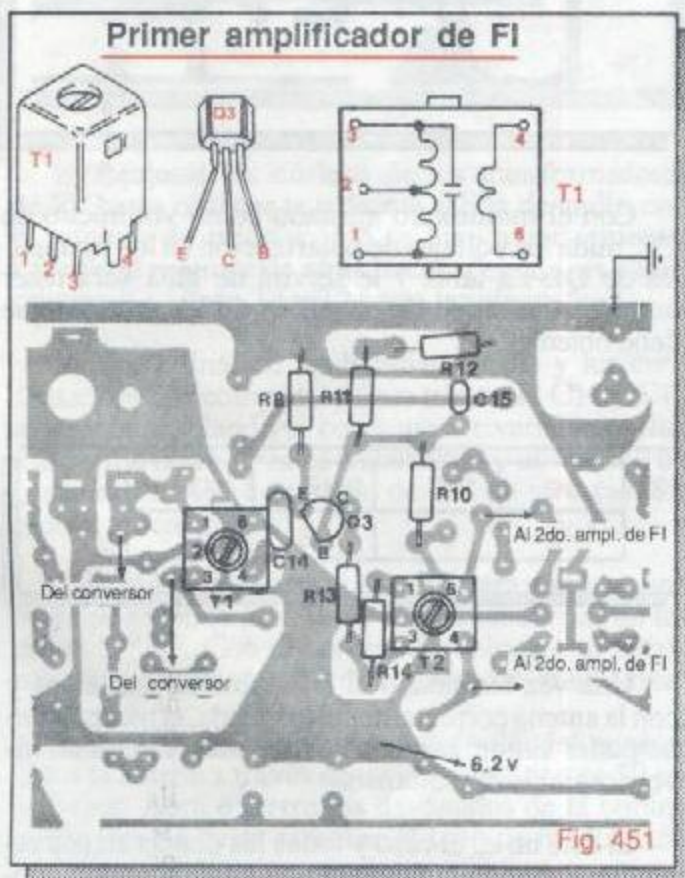
Con el multímetro ajustado como voltímetro de CC, mida los voltajes de polarización en los terminales de Q4. La tabla 4 le servirá de guía para tener una idea del orden de magnitud de los voltajes que debe obtener.

VB	VC	VE	VBE	
1.11	5.9	0.42	0.7	V

Tabla 4

### Primer amplificador de FI

En la figura 451 se muestran los detalles constructivos del primer amplificador de FI del radio FM CEKIT. Observe la forma de identificar los terminales del transformador sintonizado T1 (núcleo naranja) y del transistor Q3.



El procedimiento de prueba y ajuste de esta etapa es similar al utilizado para la segunda etapa. Inyecte una señal de FM de 10.7 MHz al pin 1 de T1 y conecte momentáneamente el pin 2 del mismo a tierra. Deberá escuchar un tono en el parlante. Sin modulación, el tono debe desaparecer.

Ajuste el núcleo de T1 y reajuste los de T2, T3 y T4 hasta obtener la máxima señal de salida de audio. El tono escuchado en el parlante deberá alcanzar su máximo volumen. Visualice la señal de salida con un osciloscopio en el punto Q o mida el voltaje de señal con un voltímetro de CA en paralelo con el parlante.

Si no posee generador de FM, utilice un radio de FM en servicio como generador de señal. Extraiga de este último la señal de salida del conversor y aplíquelo al mismo punto del radio bajo prueba. Ajuste T1, T2, T3 y T4 hasta obtener la máxima salida de audio en el parlante.

Retire la conexión momentánea a tierra del pin 2 para evitar un posible corto en la fuente del receptor modelo. No olvide interconectar las tierras de referencia de ambos receptores.

Con el multímetro ajustado como voltímetro de CC, mida los voltajes de polarización en los terminales de Q3. La tabla 5 le servirá de guía para tener una idea del orden de magnitud de los voltajes que debe obtener.

VB	VC	VE	VBE	
1.46	6	0.76	0.7	V

Tabla 5

### Conversor de FI y CAF

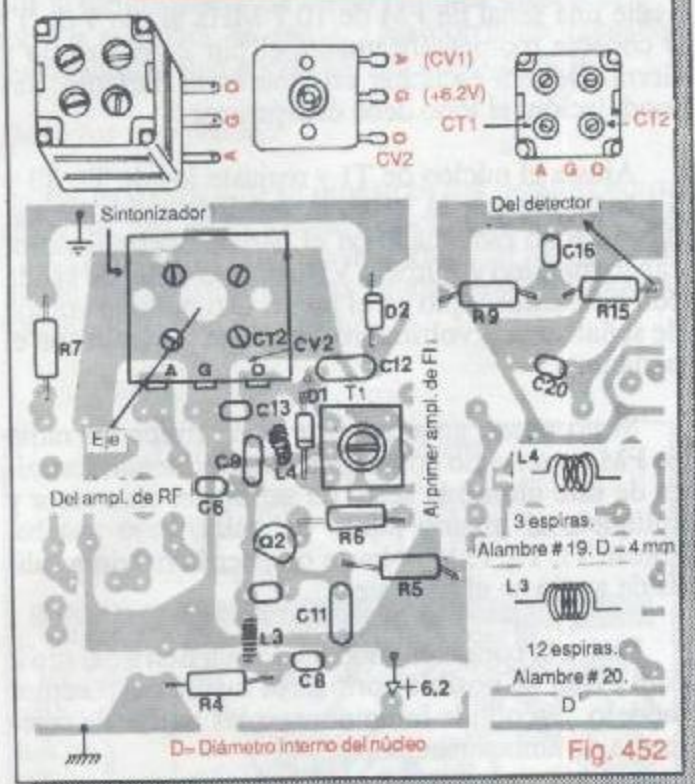
En la figura 452 se muestran los detalles constructivos del conversor y el CAF del radio FM CEKIT. Observe la forma de identificar los terminales del transistor Q2, el condensador variable CV2 y su trimmer CT2 asociado. Se indica también la forma de fabricar las bobinas L3 y L4.

Para la prueba de esta etapa, inyecte una señal de FM de 10.7 MHz modulada en frecuencia al extremo libre de C6. Ajuste la amplitud de esta señal a un nivel mínimo para no afectar el rango dinámico de las etapas. Deberá escuchar un tono en el parlante. Sin modulación, el tono debe desaparecer.

Reajuste nuevamente los núcleos de T1, T2, T3 y T4 hasta obtener la máxima señal de salida de au-



## Conversor de FI y CAF



dio. El tono escuchado en el parlante deberá alcanzar su máximo volumen. Visualice la señal de salida con el osciloscopio o mida el voltaje de señal con el voltímetro de CA en paralelo con el parlante.

Si no posee generador de FM, utilice un radio de FM en servicio como generador de señal. Extraiga de este último la señal de salida del amplificador de RF y aplíquela al mismo punto del radio bajo prueba. Ajuste T1, T2, T3 y T4 hasta obtener la máxima salida de audio en el parlante.

No olvide interconectar las tierras de ambos receptores para establecer una referencia punto.

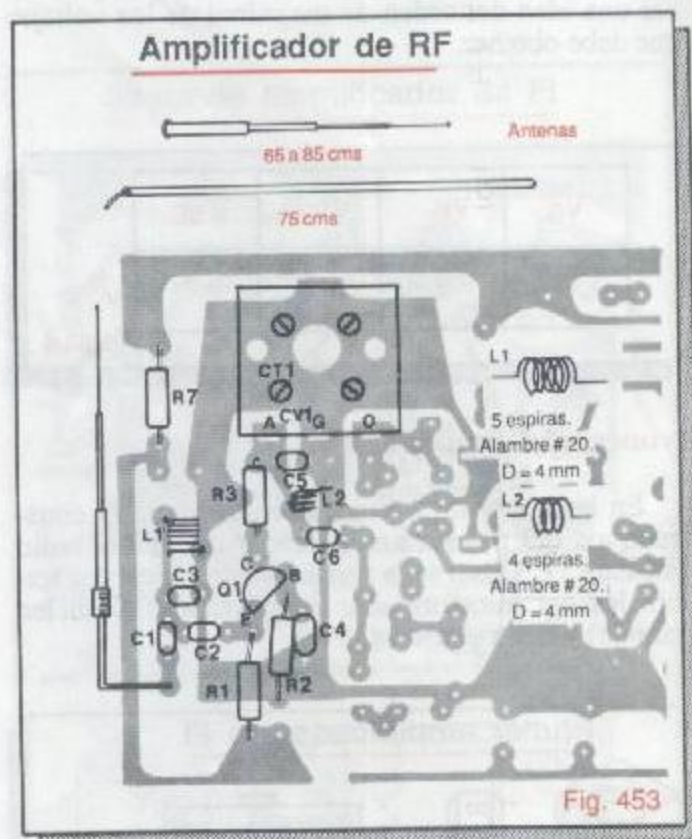
Con el multímetro ajustado como voltímetro de CC, mida los voltajes de polarización en los terminales de Q2. La tabla 6 le servirá de guía para tener una idea del orden de magnitud de los voltajes que debe obtener.

VB	VC	VE	VBE
1.63	6	0.98	0.7

Tabla 6

## Amplificador de RF

En la figura 453 se muestran los detalles constructivos del amplificador de RF del radio FM CEKIT. Observe la forma de identificar los terminales del transistor Q1, el condensador variable CV1 y su trimmer CT1 asociado. Se indica también la forma de fabricar las bobinas L1 y L2.



Con el multímetro ajustado como voltímetro de CC, mida los voltajes de polarización en los terminales de Q1. La tabla 7 le servirá de guía para tener una idea del orden de magnitud de los voltajes que debe obtener.

VB	VC	VE	VBE
1.46	6	0.76	0.7

Tabla 7

Una vez terminado el ensamble de esta etapa y con la antena correctamente instalada, el receptor debe poder sintonizar más de una emisora con un nivel aceptable de volumen.

Si éste no es el caso y todas las demás etapas están funcionando correctamente, rectifique las cone-



xiones del amplificador. Busque posibles circuitos abiertos, cortocircuitos, componentes mal instalados, soldaduras "frías", etc. No se desanime.

Si la falta de sintonización persiste y Q1 está trabajando correctamente, realice lo siguiente:

a) Desconecte el cable de antena de su televisor y conecte a uno de sus extremos un condensador de 50 pF en serie con la antena de su radio (figura 454). Sitúe el control de volumen al máximo y gire lentamente la perilla de sintonía (CV1/CV2) hasta sintonizar la emisora más débil.



b) Reajuste los núcleos de los transformadores de FI hasta obtener la máxima salida de audio con el mínimo de ruido, como se hizo anteriormente. Efectúe el reajuste de atrás hacia adelante, es decir, primero T4, luego T3 y T2 hasta terminar con T1.

El ajuste final de las bobinas L2, L4 y los condensadores de compensación o trimmers CT1 y CT2 se realiza acoplando al condensador variable el dial o la perilla indicadora de frecuencias y utilizando un generador de RF o un radio de FM en servicio. Siga este procedimiento:

1º) Calibre el generador de RF para entregar una señal de 88 MHz modulada en frecuencia por un tono de 1 KHz. Con el control de volumen al máximo, sitúe también el dial de su receptor en 88 MHz.

Aproxime o aplique la señal de RF del generador a la antena a través de un condensador de 50 pF o mayor. Abra o cierre los devanados de la bobina osciladora L4 hasta escuchar el tono de modulación de 1 KHz en el parlante.

Si no posee generador de RF-FM, sintonice tanto el radio modelo como el receptor a calibrar en 88 MHz o la frecuencia más próxima. Ajuste L4 hasta escuchar en el parlante de su radio la misma emisora que se está oyendo en el radio modelo, con el máximo volumen y el mínimo de ruido.

2º) Calibre ahora el generador de RF para entregar una señal de FM de 108 MHz. Con el control de volumen al máximo, sitúe también el dial de su receptor en 108 MHz.

Aproxime o aplique la señal de RF del generador a la antena. Con un destornillador no metálico, calibre el trimmer CT2 del oscilador hasta escuchar el tono de modulación en el parlante.

Si utiliza un radio de FM como patrón de frecuencia, sintonice ambos receptores a 108 MHz, o la estación más próxima, y ajuste CT2 hasta escuchar en el parlante la misma emisora, con el máximo volumen y el mínimo de ruido.

3º) Calibre el generador o el radio modelo a 93 MHz y el dial de su receptor a la misma frecuencia. Abra o cierre las espiras de la bobina L2 de sintonía de RF hasta escuchar nítidamente el tono de modulación o la misma emisora en el parlante.

4º) Calibre el generador o el radio patrón a 103 MHz y el dial de su receptor a la misma frecuencia. Ajuste el trimmer CT1 hasta escuchar claramente en el parlante el tono de modulación o la misma emisora sintonizada en el radio de muestra.

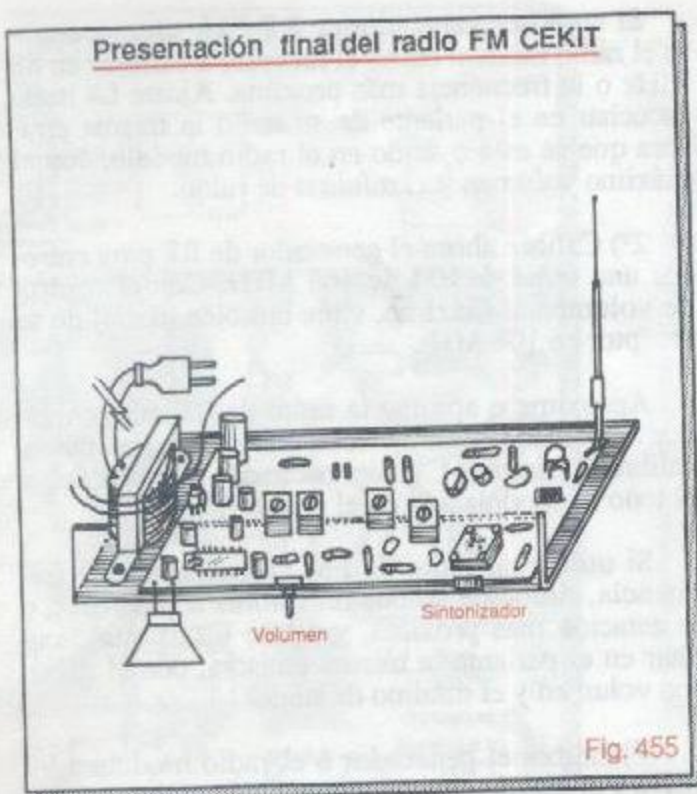
Una vez terminada la calibración, recorra el dial para verificar que la frecuencia de la emisora sintonizada coincida con la marcada. Repita los pasos 1º) hasta 4º), si es necesario, hasta obtener una correspondencia óptima.

Una vez ensamblado y ajustado su radio y en pleno funcionamiento, sólo falta conseguirle o crearle un gabinete plástico o metálico adecuado, con acceso a los controles de sintonía y volumen y que sirva de soporte al circuito impreso, la antena, el parlante y el transformador de potencia. Así su radio tendrá una apariencia profesional.

En la figura 455 se muestra un ejemplo de gabinete acrílico abierto que usted puede construir fácilmente para su radio.

En los almacenes especializados se venden cajas plásticas o metálicas terminadas de varias dimensiones, diseñadas específicamente para alojar proyectos. Lo único que tiene que realizar usted son las perforaciones para operar externamente el control de volumen y el control de sintonía y asegurar firmemente el transformador de potencia y el parlante.





Con unas pocas herramientas esenciales y un procedimiento adecuado, la construcción de un chasis metálico para su radio es relativamente fácil.

Utilice preferiblemente aluminio, no sólo porque es un material que provee un excelente blindaje si no porque es más fácil de trabajar que otros metales y proporciona buenos contactos a tierra. El aluminio se vende en forma de láminas de diferentes espesores y es muy maleable.

Usted puede ahorrar mucho dinero y energía si dedica suficiente tiempo a la planeación de su trabajo. Cuando todos los detalles han sido previstos, la construcción del chasis se simplifica enormemente.

Cuando perfora agujeros en un metal con un taladro, es importante localizar primero los centros con un centro punto, que es un estilete de acero de punta afilada. De esto modo se evita que la broca se deslice o patine con respecto al centro cuando se va a empezar a perforar.

Los agujeros de más de 6 mm de diámetro deben perforarse en dos pasos: primero con una broca pequeña y finalmente con la broca definitiva. Para realizar círculos muy grandes o extraer superficies arbitrarias como rectángulos, cuadrados, etc. de la lámina, siga estas recomendaciones:

Realice a todo lo largo del perímetro interno de la figura una serie de pequeñas perforaciones muy próximas entre sí. Desprenda la lámina y suavice los bordes con una lima fina.

## Actividad práctica Nº 19

### Ensamble del amplificador / conversor de RF. Parte 1.

En esta primera parte de la actividad 19 instalaremos en el tablero del radio AM CEKIT una parte de los componentes que forman el amplificador/conversor de RF, la etapa marcada con color amarillo en la lámina correspondiente al diagrama esquemático del receptor.

#### Componentes necesarios

- 1 Resistencia de 22K $\Omega$ , 1/4W, 5% (rojo, rojo, naranja, dorado). R1.
- 1 Resistencia de 1 K $\Omega$ , 1/4W, 5% (café, negro, rojo, dorado). R2.
- 1 Resistencia de 10 K $\Omega$ , 1/4W, 5% (café, negro, naranja, dorado). R3.
- 1 Resistencia de 2.7 K $\Omega$ , 1/4W, 5% (rojo, violeta, rojo, dorado). R4.
- 1 Resistencia de 120 K $\Omega$ , 1/4W, 5% (café, rojo, amarillo, dorado). R5.

#### Procedimiento

**Paso 1.** Instale la resistencia R1 de 22 K $\Omega$  entre las puntillas 46 y 45 de la etapa marcada "amplificador RF/conversor" en la guía de instalación. Después de soldar, corte el alambre excedente.

**Paso 2.** Instale la resistencia R2 de 1 K $\Omega$  entre las puntillas B4 y B11 de la misma etapa. Suelde y corte el alambre excedente.

**Paso 3.** Instale la resistencia R3 de 10 K $\Omega$  entre las puntillas B3 y 3 de la etapa. Suelde y corte el alambre excedente.

**Paso 4.** Instale la resistencia R4 de 2.7 K $\Omega$  entre las puntillas B6 y 4. Suelde y corte el alambre excedente.

**Paso 5.** Instale la resistencia R5 de 120K $\Omega$  entre las puntillas B14 y B15. Doble hacia la derecha, en ángulo recto, los terminales excedentes de ambas puntillas y conéctelos a las puntillas B17 y B19, respectivamente. Suelde y corte el alambre excedente.

R1 y R3 suministran la corriente de polarización de la base del transistor Q1. R2 proporciona la corriente de polarización del colector del mismo y minimiza el riesgo de oscilaciones parásitas. R4 estabiliza térmicamente el punto de trabajo. R5 amplía el ancho de banda del transformador T1.

El transistor Q1 y el transformador T1 se instalarán en una futura actividad.



# Fuentes de poder para radios AM y FM

## Introducción

Todos los circuitos electrónicos necesitan algún tipo de energía para poder funcionar; algunas veces se requiere corriente alterna y otras veces continua.

En el caso de los radios de AM y FM, éstos obtienen su energía por medio de dos sistemas: el de pilas o baterías y el de fuentes de poder.

Cuando el radio está fabricado para entregar una baja potencia de sonido, de unos 2 a 5 vatios como máximo, se alimenta con pilas. Si el radio tiene una mayor potencia se alimenta por medio de una fuente de poder.

Las fuentes de poder pueden ser internas o externas. Son internas cuando sus componentes forman parte integral del circuito del radio o de un equipo amplificador de sonido que tiene como uno de sus módulos un radio.

Es externa cuando está fabricada en forma independiente y se conecta al radio por medio de un cable y un conector.

La función básica de una fuente de poder es convertir corriente alterna en corriente continua (figura 456). En la Lección 3 de este curso ya hemos estudiado la naturaleza y el funcionamiento de las pilas y baterías en sus diferentes tipos.

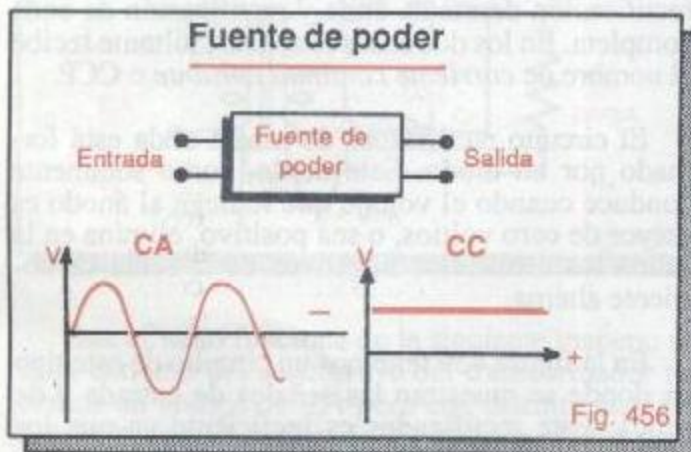


Fig. 456

En esta lección vamos a estudiar el funcionamiento de las fuentes de poder y sus diferentes componentes.

## Fuentes de poder no reguladas

Una fuente de poder o convertidor no regulado transforma corriente alterna en corriente continua, con un voltaje de salida que puede variar de acuerdo a las circunstancias de funcionamiento. En algunos circuitos de radio esta variación no afecta su funcionamiento y se puede tolerar.

En la figura 457 tenemos el diagrama de bloques en donde se muestra cómo está formada una fuente de poder no regulada o convertidor de voltaje.

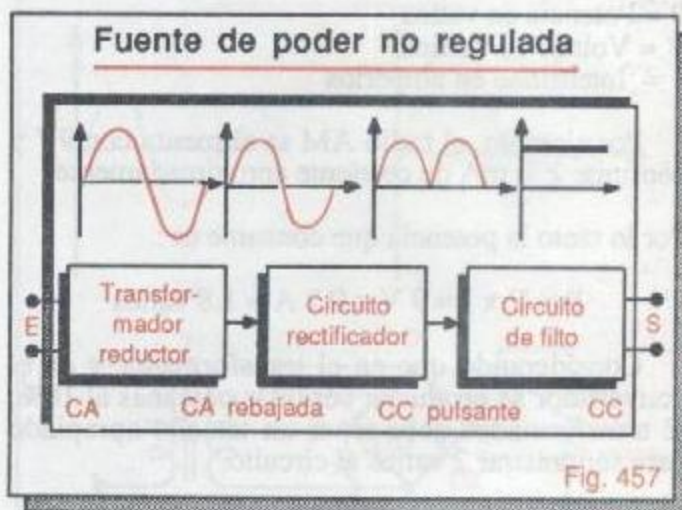


Fig. 457

El primer bloque siempre contiene un transformador que se encarga de rebajar el voltaje de la red de alimentación, ya sea de 110 voltios o de 220 voltios, a un valor menor, generalmente comprendido entre 6 y 12 voltios.

El segundo bloque se llama circuito rectificador y se encarga de eliminar los semiciclos negativos de la señal o voltaje de corriente alterna. Esta operación se puede realizar en diferentes formas que estudiaremos más adelante en esta misma lección.

El tercer bloque del convertidor es el circuito de filtro que se encarga de *pulir* la señal para llevarla a una forma de onda lo más cercana posible a la corriente continua.

## El transformador en la fuente de poder

Debido a que los circuitos internos de los radios trabajan con voltajes bajos, el primer paso que se



debe realizar es rebajar el voltaje de entrada que es alto, generalmente de 110 voltios.

Este proceso lo realiza el transformador por medio de dos bobinas. La bobina del primario, que está conectada a la entrada y que tiene muchas vueltas y la bobina de salida o secundario, que tiene pocas vueltas.

El tamaño del transformador depende de la potencia que se desea rebajar. Esta potencia se calcula conociendo el voltaje y la corriente del circuito del radio.

La fórmula para calcular la potencia es:

$$P = V \times I$$

Donde:

P = Potencia en vatios

V = Voltaje en voltios

I = Intensidad en amperios

Por ejemplo, el radio AM se alimenta con 9V y consume 200 mA de corriente aproximadamente.

Por lo tanto la potencia que consume es :

$$P = V \times I = 9 \text{ V} \times 0.2 \text{ A} = 1.8 \text{ vatios}$$

Considerando que en el transformador y en el convertidor se producen pérdidas cercanas al 10%, el transformador debe tener un tamaño apropiado para suministrar 2 vatios al circuito.

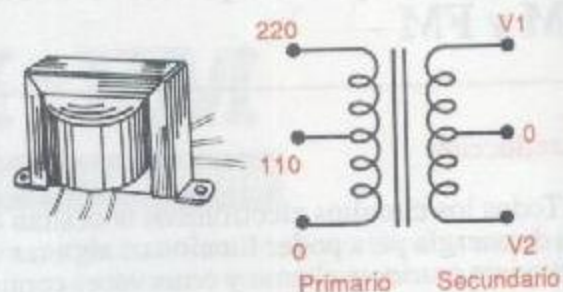
Como vimos en la Lección 9, este tipo de transformador recibe el nombre de *transformador reductor* ya que en su salida el voltaje es menor que en la entrada.

Como veremos más adelante, según el tipo de *rectificación* o sistema de convertir la CA en CC, el secundario del transformador puede tener dos o tres terminales. Algunos transformadores utilizados para radios y grabadoras tienen un primario con tres terminales con el fin de que el aparato se pueda conectar a voltajes de entrada de 110 ó 220 voltios.

En la figura 458 tenemos el aspecto físico y el símbolo de estos transformadores que se utilizan para las fuentes de poder de los radios.

Para armar nuestras propias fuentes de poder podemos conseguir los transformadores con los voltajes y corrientes apropiados, en los almacenes especializados en la venta de componentes electrónicos o en las compañías dedicadas a su fabricación.

## Transformadores para radios



Aspecto físico

Símbolo

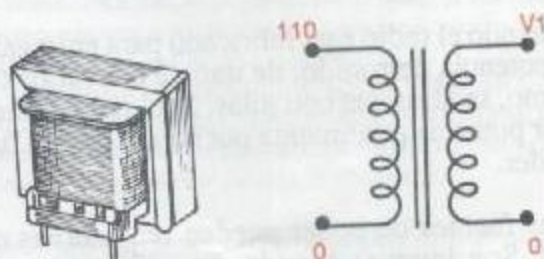


Fig. 458

## Los circuitos rectificadores

Según el diagrama de bloques de la figura 457 el segundo circuito de una fuente de poder se llama *circuito rectificador*.

El circuito rectificador recibe del transformador un voltaje de corriente alterna rebajado y elimina la parte negativa de esta señal. A este proceso se le conoce como *rectificación* y tiene dos variaciones; *rectificación de media onda* y *rectificación de onda completa*. En los dos casos la señal resultante recibe el nombre de *corriente continua pulsante* o CCP.

El circuito rectificador de media onda está formado por un diodo. Este diodo, como solamente conduce cuando el voltaje que le llega al ánodo es mayor de cero voltios, o sea positivo, elimina en la salida los semiciclos negativos de la señal de corriente alterna.

En la figura 459 tenemos un circuito de este tipo en donde se muestran las señales de entrada y de salida. Este rectificador es ineficiente ya que los pulsos tienen mucha distancia entre sí y es poco utilizado en las fuentes de poder para radios.

Para suplir esta deficiencia se utilizan circuitos *rectificadores de onda completa* que pueden ser de



### Rectificador de media onda

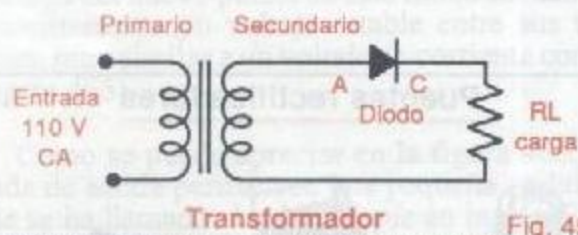
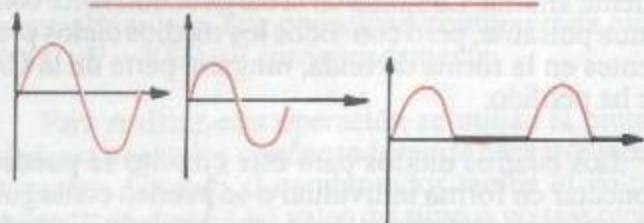


Fig. 459

dos tipos: con dos diodos o con puente rectificador de cuatro diodos.

En la figura 460 tenemos el circuito rectificador de onda completa con dos diodos. En este caso el secundario del transformador tiene tres terminales. El terminal del centro recibe el nombre de *tap central* y por él se obtiene el polo negativo del voltaje rectificado.

### Rectificador de onda completa

#### Dos diodos

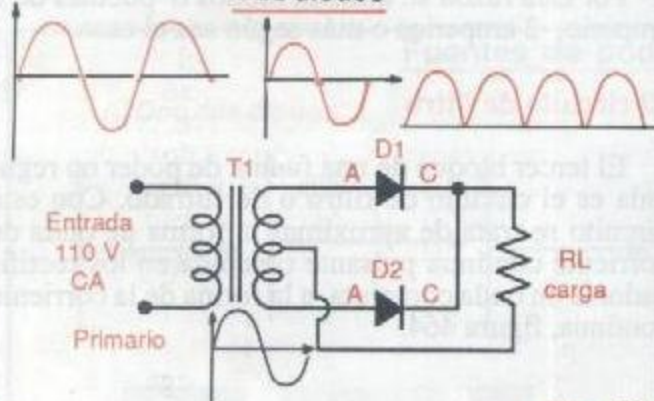


Fig. 460

Este circuito funciona de la siguiente manera: en cada extremo del secundario del transformador tenemos un voltaje de CA pero con distinta fase debido a la configuración de las bobinas. Estos puntos están marcados como A y B en el diagrama.

Si tomamos las señales simultáneamente, el diodo D1 empezará a conducir en el primer semiciclo y D2 estará bloqueado y no dejará pasar la señal.

En el segundo semiciclo, conduce el diodo D2 y se bloquea el diodo D1. Así, cada diodo deja pasar o conduce cada medio ciclo del voltaje de corriente alterna entregando en la salida un voltaje de corriente continua pulsante con todos los ciclos de valor positivo adyacentes.

De esta forma nos vamos acercando a la conversión de corriente alterna en corriente continua.

El otro método de rectificación es el que se muestra en la figura 461 que utiliza cuatro diodos conectados en una configuración especial llamada *punteo rectificador*. Con este sistema el secundario del transformador solamente necesita dos terminales y su tamaño puede ser más pequeño que en el caso anterior.

### Rectificador de onda completa

#### Puente rectificador

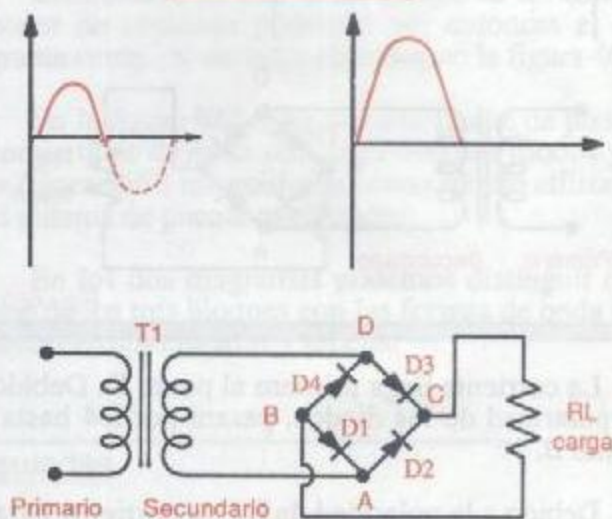


Fig. 461

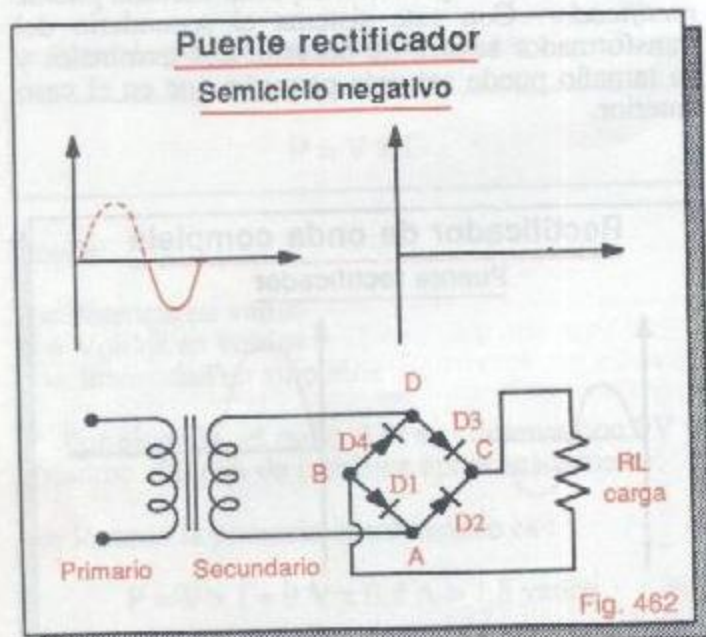
Este circuito trabaja de la siguiente manera: durante el primer medio ciclo positivo, el terminal superior del transformador es positivo y el terminal inferior es negativo. La secuencia del flujo de corriente será así:

- 1- La corriente llega al punto A y pasa entonces a D1; ésta no puede pasar por D2, debido a su polarización.
- 2- Cuando la corriente llega al punto B, ésta pasa a la resistencia de carga. No puede pasar por D4, debido a su polarización.
- 3- Cuando la corriente llega al punto C, encuentra a D3 y D2, entonces pasa por D3, ya que por D2 no puede pasar debido a su polarización.



4- Cuando la corriente llega al punto D y encuentra el terminal superior del transformador, puede pasar por D4 por su polaridad, entonces pasa por el transformador.

Ahora veamos qué pasa en el medio ciclo negativo: durante el primer medio ciclo negativo, el terminal superior del transformador es negativo y el terminal inferior es positivo. La corriente tendrá entonces la secuencia o camino como la que se muestra la figura 462.



1- La corriente llega primero al punto D. Debido a la polaridad de los diodos, pasará por D4 hasta el punto B.

2- Debido a la polaridad de D1, la corriente pasará a la resistencia de carga.

3- Al llegar al punto C la corriente toma el camino de D2, ya que su ánodo es positivo.

4- Finalmente en el punto A la corriente encontrará el terminal positivo del transformador.

Lo anterior se puede reducir de la siguiente manera:

En el medio ciclo positivo conducen (dejan pasar la corriente), los diodos D1 y D3. En el medio ciclo negativo conducen los diodos D2 y D4.

En el punto C tenemos deficiencia de cargas negativas. En el punto B, tenemos exceso de cargas negativas.

Entonces siempre tendremos una corriente que va desde B a C, o lo que en otras palabras significa: C está a mayor potencial que B.

Hemos completado ahora el ciclo total de la corriente alterna. La salida en la carga es corriente continua pulsante, pero con todos los medios ciclos presentes en la forma de onda, ninguna parte de la CA se ha perdido.

Los cuatro diodos para este circuito se pueden conectar en forma individual o se pueden conseguir en un sólo componente ya encapsulado llamado *punto rectificador* como los que se muestran en la figura 463.

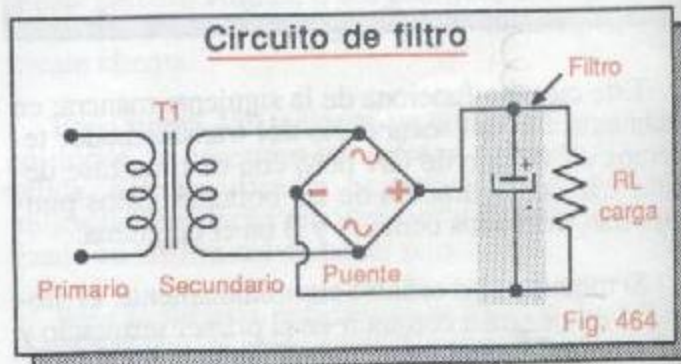


Para los casos de rectificadores de onda completa con dos diodos, con cuatro diodos o con puente rectificador éstos deben estar de acuerdo al voltaje y a la corriente que se desean rectificar.

Por esta razón se utilizan diodos o puentes de 1 amperio, 2 amperios o más según sea el caso.

### El circuito de filtro

El tercer bloque de una fuente de poder no regulada es el circuito de filtro o de filtrado. Con este circuito se trata de aproximar la forma de onda de corriente continua pulsante obtenida en los rectificadores de onda completa, a la forma de la corriente continua, figura 464.





Para circuitos simples de radios AM o FM este filtro está formado solamente por un condensador electrolítico con una capacidad comprendida entre 1000  $\mu\text{F}$  y 3000  $\mu\text{F}$  aproximadamente.

Para realizar esta operación se utiliza la propiedad que tienen los condensadores de cargarse y descargarse. Cuando el condensador recibe el voltaje pulsante se carga a su valor máximo o voltaje pico.

Cuando empieza a descargarse, recibe otra vez la carga del nuevo pulso; de este modo sostiene permanentemente un voltaje estable entre sus terminales, muy similar a un voltaje de corriente continua (figura 465).

Como se puede apreciar en la figura 465, en la onda de salida permanece una pequeña ondulación que se ha llamado *rizado* o *ripple* en inglés. Este rizado es mayor cuando aumenta la corriente de carga y depende del valor en microfaradios del condensador de filtro, ya que según este factor el condensador se descarga más o menos rápidamente.

Este fenómeno se puede apreciar mejor en la representación de la figura 465 y se puede escuchar en un radio como un ruido de fondo permanente más conocido en el argot técnico como *hum* o *hom*.

Para un determinado circuito se puede rebajar este ruido considerablemente, aumentando el valor en microfaradios del condensador de filtro simplemente conectando otro igual o de más microfaradios en paralelo con el ya existente.

## Señal en el circuito de filtro

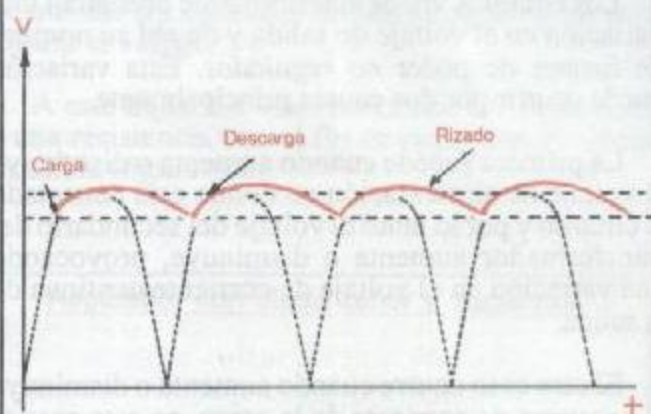


Fig. 465

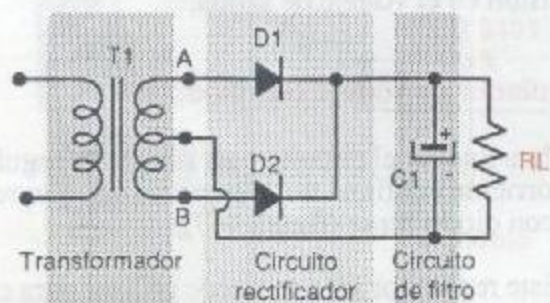
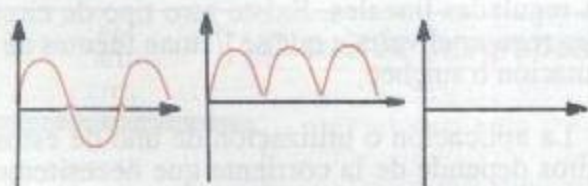
Conociendo ya este tercer bloque de la fuente de poder no regulada podemos ver entonces el diagrama completo de estos circuitos en la figura 466.

En la figura 466A tenemos la fuente de poder o convertidor de onda completa con dos diodos y en la figura 466B tenemos el mismo circuito utilizando el sistema de puente rectificador.

En los dos diagramas podemos distinguir cada uno de los tres bloques con las formas de onda presentes en sus entradas y salidas.

## Fuentes de poder no reguladas

### A) Con dos diodos



### B) Con puente rectificador

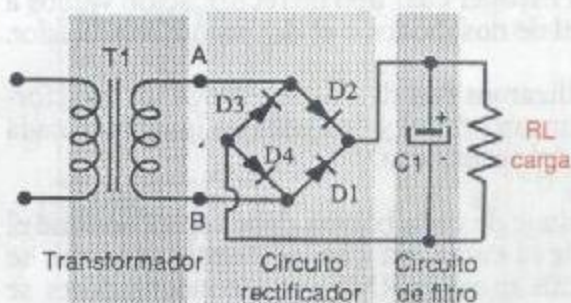
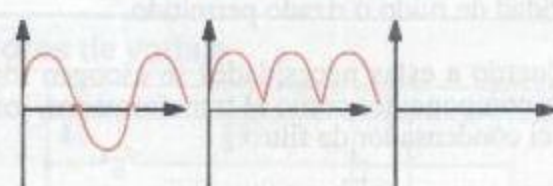


Fig. 466



## Variación del voltaje de salida en la fuentes de poder no reguladas

Los circuitos vistos anteriormente presentan una variación en el voltaje de salida y de ahí su nombre de fuentes de poder *no reguladas*. Esta variación puede ocurrir por dos causas principalmente.

La primera sucede cuando aumenta o disminuye el voltaje de alimentación en donde está conectado el circuito y por lo tanto el voltaje del secundario del transformador aumenta o disminuye, provocando una variación en el voltaje de corriente continua de la salida.

El otro caso ocurre cuando aumenta o disminuye el consumo de corriente de la carga, en este caso el circuito del radio.

El consumo de un radio aumenta o disminuye proporcionalmente al volumen ajustado en el control de volumen del amplificador de audio.

Cuando hay más volumen, hay más consumo de corriente y viceversa. Esto hace que el voltaje del transformador baje o suba de acuerdo con este consumo de corriente.

En algunos radios esta variación es permisible y en otros no, por lo que se hace necesaria la implementación de circuitos reguladores de voltaje.

## Cálculos de los valores de los componentes

Para construir una fuente no regulada debemos tener en cuenta varios factores. Primero que todo debemos conocer cuál es el voltaje y la corriente que se requieren en la carga o sea el radio que vamos a alimentar. El otro factor que se debe conocer es la cantidad de ruido o rizado permitido.

De acuerdo a estas necesidades se escogen los diferentes componentes como el transformador, los diodos y el condensador de filtro.

Para seleccionar el transformador y su tamaño, debemos escoger cuál tipo de rectificación vamos a utilizar, el de dos diodos o el del puente rectificador.

Si utilizamos dos diodos se escoge un transformador con tap central y dos voltajes iguales en cada extremo del secundario.

El voltaje de cada bobina debe ser menor que el voltaje de la carga, ya que los transformadores se especifican en valor RMS y los condensadores se cargan al voltaje pico. Para calcular estos valores se pueden utilizar las fórmulas estudiadas en la Lección 4 de este curso.

## Fuentes de poder reguladas

Los circuitos de radio donde se utilizan circuitos integrados y transistores necesitan un voltaje estable y preciso para el cual fueron diseñados. Si el voltaje es menor no trabajan y si es mayor, se pueden quemar fácilmente.

Existen además otros componentes que necesitan voltajes muy estables como son los microprocesadores y las memorias que se están utilizando en todos los equipos de radio modernos.

Otro aspecto que se modifica considerablemente con la variación del voltaje de alimentación es la potencia de salida de la señal de radiofrecuencia en los equipos. Así, encontramos que uno o dos voltios menos se transforman en porcentajes de 20 ó 30% menos de potencia de transmisión, en el caso de los radiotransmisores.

En el caso contrario, si el voltaje de alimentación es muy alto, los circuitos o etapas finales quedan sobrecargados y se pueden quemar fácilmente.

## Circuitos reguladores de voltaje

Para evitar las variaciones de voltaje se debe agregar a las fuentes no reguladas un circuito adicional que regule el voltaje de salida de CC, aunque haya variaciones de voltaje en la entrada de CA o varíe la carga conectada a la fuente de poder.

Estos circuitos reguladores pueden ser muy simples, utilizando diodos zener o un poco más complejos: con transistores, diodos zener y resistencias o con circuitos integrados llamados reguladores de voltaje de tres terminales.

Este tipo de circuitos recibe el nombre de fuentes reguladas lineales. Existe otro tipo de circuitos para regular el voltaje que se llaman fuentes de conmutación o suicheo.

La aplicación o utilización de uno de estos circuitos depende de la corriente que necesitemos en la carga, de la estabilidad que se necesite y de la precisión en el voltaje de salida.

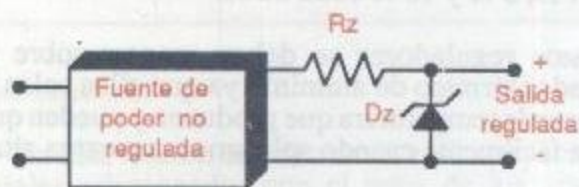
## Regulador de voltaje con diodo zener

Para ilustrar el circuito más simple de regulación de corriente continua miraremos un circuito regulador con diodo zener (figura 467).

Este regulador sólo se puede utilizar para estabilizar el voltaje en circuitos con muy poca carga, solamente unos 100 a 200 miliamperios. Este consumo de corriente se encuentra en los receptores; en



### Regulador con diodo zener



Dz → Diodo zener  
Rz → Resistencia limitadora

Fig. 467

los equipos transmisores de radio de banda ciudadana y radioaficionado tenemos cargas de 3 amperios en adelante.

Note que debe existir siempre una resistencia en serie con el diodo zener. El objetivo de esta resistencia es limitar la corriente que circula por él, con el fin de evitar su destrucción cuando aumenta el voltaje de entrada no regulado.

El valor en ohmios de esta resistencia depende del voltaje de entrada no regulado y del voltaje del diodo zener. Los diodos zener se fabrican para un voltaje determinado, como por ejemplo 5 voltios, 6 voltios, 9 voltios, etc.

Para cargas mayores se recomiendan los circuitos con uno o varios transistores y diodo zener o los circuitos integrados reguladores de voltaje.

### Regulador de voltaje con transistor y diodo zener

Cuando la corriente de la carga es mayor, se debe utilizar un transistor en serie con la carga para regular el voltaje.

A este transistor van conectados un diodo zener y una resistencia con el fin de establecer el voltaje de salida (figura 468).

### Regulador con diodo zener y transistor

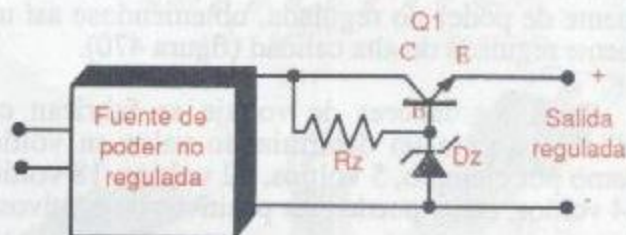


Fig. 468

El transistor se comporta como una resistencia variable. Cuando el voltaje de entrada es mayor, hay mas caída de voltaje entre los terminales emisor y colector del transistor. Igualmente, si varía la carga, varía la caída de voltaje en serie y la salida trata de permanecer estable.

Este tipo de circuito puede manejar corrientes más grandes que el circuito con zener y también soporta mayores variaciones del voltaje de entrada.

### Circuitos integrados reguladores de voltaje



Aspecto físico



Símbolo

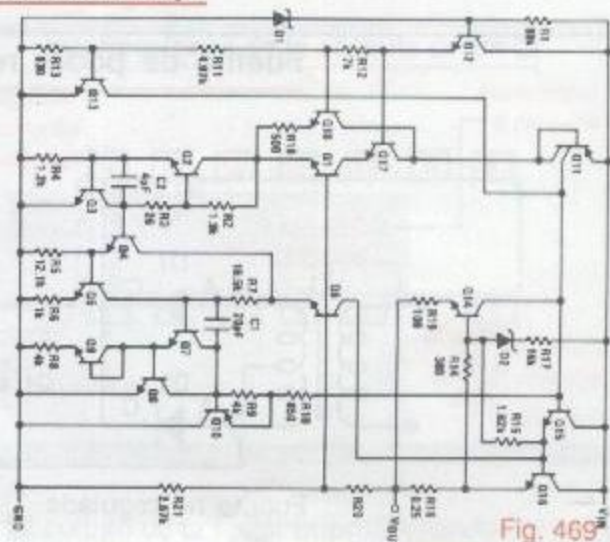


Fig. 469



## Circuitos integrados reguladores de voltaje de tres terminales

El método más eficiente y fácil de usar actualmente es el de los circuitos integrados reguladores de voltaje de tres terminales.

En estos circuitos integrados se han agrupado una gran cantidad de componentes como transistores, diodos y resistencias para formar un circuito regulador de voltaje muy completo (figura 469).

Un regulador de voltaje integrado de tres terminales se representa por un rectángulo con sus terminales de entrada, salida y tierra y se conecta a una fuente de poder no regulada, obteniéndose así una fuente regulada de alta calidad (figura 470).

Estos reguladores de voltaje se fabrican con salida fija para un determinado valor en voltios, como por ejemplo, 5 voltios, 12 voltios, 18 voltios, 24 voltios, etc, y pueden ser positivos o negativos.

Además de su voltaje tienen otra característica, que es la corriente en amperios o miliamperios que pueden regular y vienen en valores de 100 mA, 500 mA, 1 A, 3 A y 10 A entre otros.

Estos reguladores se deben montar sobre un disipador térmico de aluminio ya que ellos solos no soportan la temperatura que producen y pueden quemarse fácilmente cuando aplicamos una carga alta.

Si se requieren corrientes mayores para las cuales fue fabricado el circuito integrado, se pueden conectar uno o más transistores en paralelo con el fin de establecer un circuito amplificador de corriente.

Con esta configuración se pueden fabricar fuentes de 3, 5, 10, 15, 20 y más amperios.

Este es el caso de las fuentes reguladas que se utilizan para los equipos de radioaficionado (figura 471).

### Fuente de poder regulada con circuito integrado

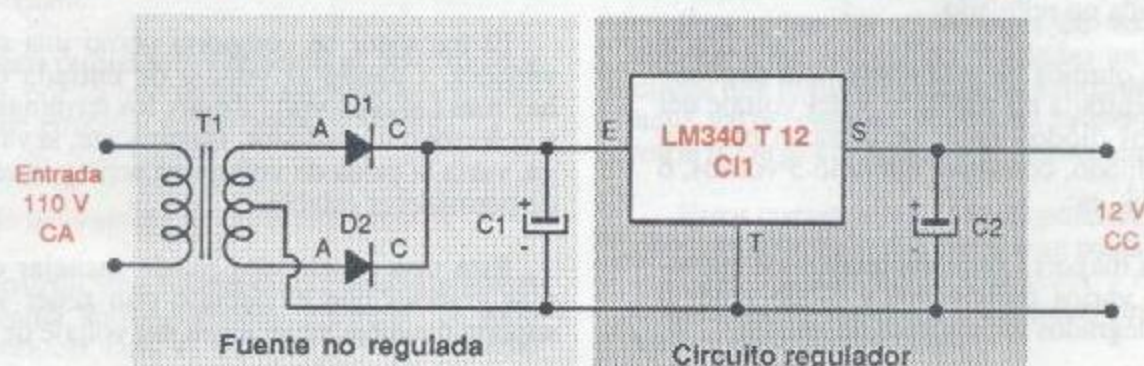


Fig. 470

### Fuente de poder regulada para alta corriente

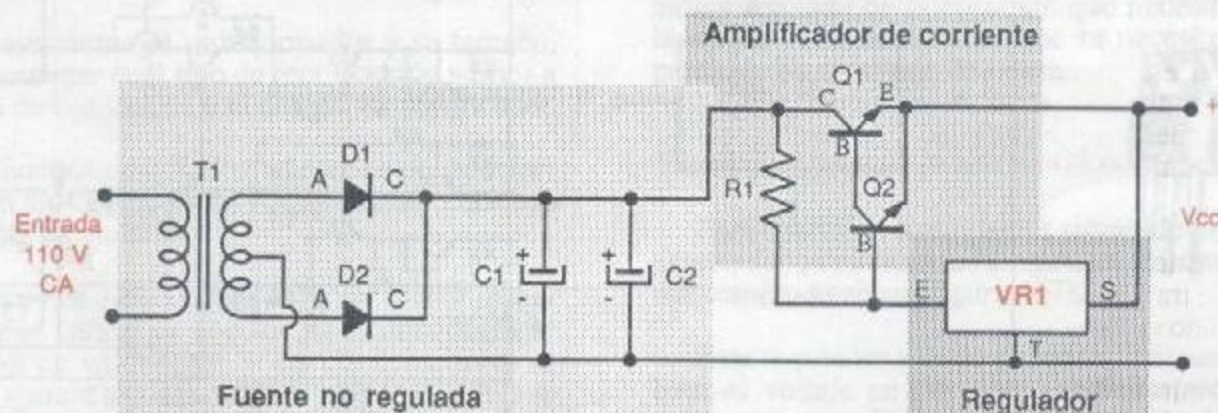


Fig. 471



# Los circuitos integrados

## Introducción

En esta lección estudiaremos varios aspectos generales relacionados con el tema de los circuitos integrados (CIs) o chips. Conoceremos en qué consisten, cómo se fabrican, cómo se clasifican y revisaremos la teoría básica del amplificador operacional, uno de los CIs más importantes.

Los circuitos integrados han mejorado nuestra forma de vivir y trabajar. Gracias a ellos disfrutamos, entre otras sorprendentes aplicaciones, de computadores personales, relojes digitales, calculadoras de bolsillo, electrodomésticos y equipos médicos, industriales y de oficina altamente sofisticados.

En el campo de las comunicaciones y la radio los circuitos integrados han hecho posible, por ejemplo, la transmisión de información de todo tipo vía satélite, la grabación y reproducción de imágenes, el desarrollo de sofisticados equipos de control y telemetría y otros sucesos.

Por esta razón es imprescindible para toda persona relacionada con el mundo de la electrónica, ya sea a nivel técnico, profesional o aficionado, conocer la existencia de los circuitos integrados y aprender a utilizarlos racionalmente. Es un conocimiento del que no podemos sustraernos.

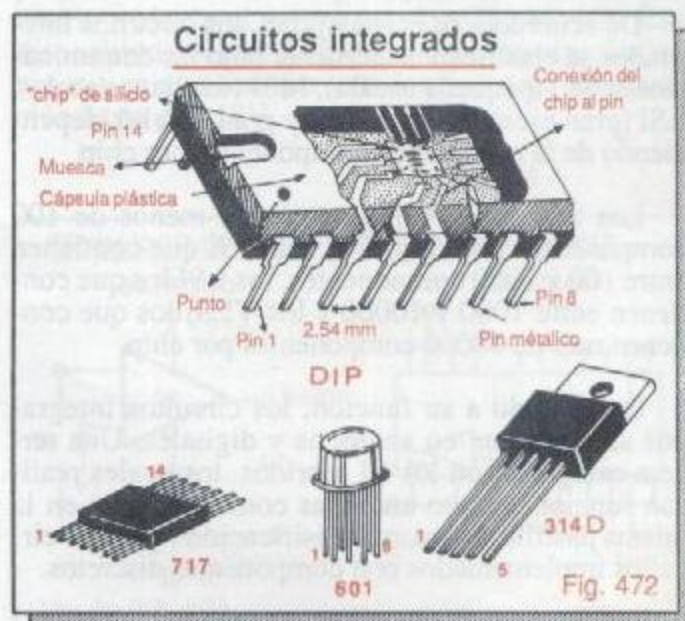
## Qué es un circuito integrado

Básicamente, un circuito integrado es un circuito electrónico completo en el cual todos los componentes, incluyendo transistores, diodos, resistencias, condensadores y alambres de interconexión, se forman completamente sobre un *chip* o pastilla semiconductora de silicio.

Una pastilla típica de silicio tiene aproximadamente de 2.5 a 6.5 mm de lado y 0.5 mm de espesor. En ese reducido espacio se pueden concentrar miles de transistores y componentes que realizan funciones muy complejas y variadas, imposibles de lograr por métodos convencionales.

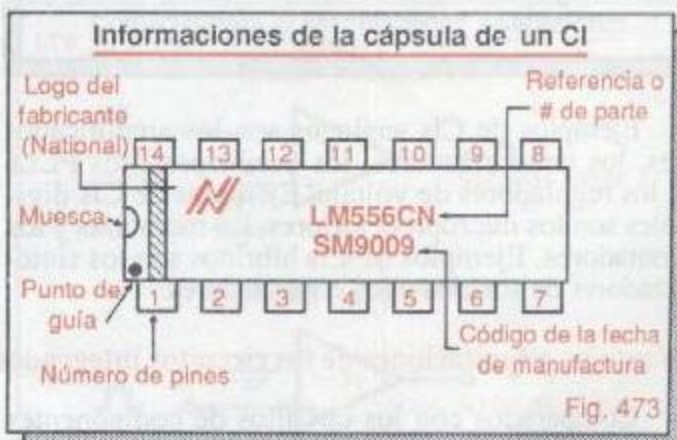
Una vez obtenida, la pastilla se encierra en una cápsula plástica o cerámica que contiene los pines de acceso a través de los cuales el chip se comunica con el mundo exterior.

En la figura 472 se muestra el aspecto de un circuito integrado con encapsulado DIP o de doble fila y otras presentaciones comunes.



En la presentación DIP, la más popular, el pin 1 se identifica mediante una ranura o un punto grabado en la parte superior de la cápsula. El conteo de los demás pines se realiza en sentido contrario al de las manecillas del reloj. Son comunes circuitos integrados DIP de 8, 14, 16, 24, 40 y 64 pines.

La cápsula contiene, además, información respecto al fabricante, la referencia del dispositivo y la fecha de fabricación (figura 473). El logotipo identifica al fabricante del chip (National, Texas, Fairchild, Motorola, etc.). La referencia o número de parte designa específicamente al dispositivo.



El código de la fecha informa cuándo fue manufacturado el chip. Las dos primeras cifras indican el



año y las dos últimas se refieren al mes o semana de fabricación. Por ejemplo, "8307" significa la séptima semana (mediados de febrero) de 1983.

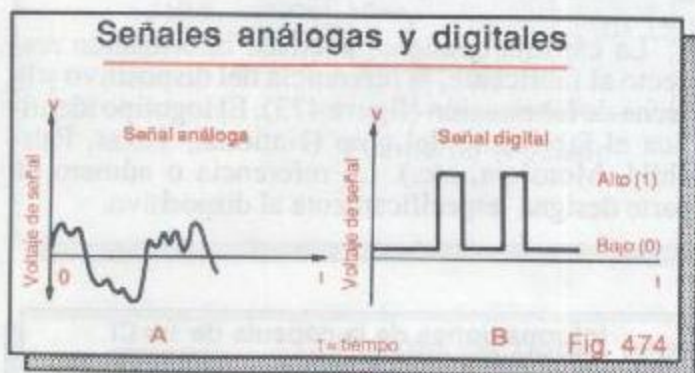
## Clasificación de los circuitos integrados

De acuerdo a su complejidad, los circuitos integrados se clasifican usualmente bajo las denominaciones SSI (pequeña escala), MSI (mediana escala), LSI (gran escala) y VLSI (muy gran escala), dependiendo de la cantidad de componentes por chip.

Los SSI son los que contienen menos de 100 componentes por chip, los MSI los que contienen entre 100 y 1000 componentes, los LSI los que contienen entre 1000 y 10000 y los VLSI los que contienen más de 10000 componentes por chip.

De acuerdo a su función, los circuitos integrados se clasifican en analógicos y digitales. Una tercera categoría son los CI híbridos, los cuales realizan funciones tanto analógicas como digitales en la misma pastilla. La misma clasificación rige para circuitos implementados con componentes discretos.

Los CI analógicos o lineales producen, amplifican o responden a señales variables de voltaje (figura 474A). Los digitales o lógicos producen, procesan o responden a señales que tienen únicamente dos niveles de voltaje, denominados estados **alto** y **bajo** o **1** (uno) y **0** (cero), respectivamente (figura 474B).



Ejemplos de CIs analógicos son los amplificadores, los temporizadores, los osciladores, los PLLs y los reguladores de voltaje. Ejemplos de CIs digitales son los microprocesadores, las memorias y los contadores. Ejemplos de CIs híbridos son los sintetizadores de sonidos y los controladores.

## Ventajas y limitaciones de los circuitos integrados

Comparados con los circuitos de componentes discretos, los circuitos integrados son mucho más pequeños, livianos, económicos y confiables. Sin embargo, su reducido tamaño limita los niveles de voltaje y potencia que pueden manejar.

Además, no se pueden integrar bobinas ni transformadores. Así mismo, en el estado actual de la tecnología, la integración de resistencias y condensadores de gran valor no es eficiente porque estos componentes requieren de mucho espacio.

## Cómo se fabrican los circuitos integrados

Prácticamente todos los circuitos integrados (CIs) disponibles en la actualidad se fabrican a partir de pastillas de *silicio* (Si), aunque están emergiendo otras tecnologías como la basada en el *arseniuro de galio* (GaAs).

El procesamiento del silicio para obtener CIs o chips es relativamente complicado pero intentaremos describirlo de una forma sencilla.

Para fabricar un chip, las pastillas de silicio se procesan primero para hacer transistores. Una pastilla de silicio por sí misma es aislante y no conduce corriente. Los transistores se crean agregando impurezas como fósforo o arsénico a determinadas regiones de la pastilla.

Las conexiones se realizan a través de líneas o trazos metálicos muy finos, generalmente de oro.

El proceso de agregado de impurezas se denomina *dopado*. Los transistores y los trazos metálicos de conexión se denominan *rasgos*.

Cada rasgo se forma sobre la pastilla rociando en las regiones seleccionadas un químico protector sensible a la luz llamado *photoresist*. El photoresist forma una película muy delgada sobre la superficie de la pastilla.

La pastilla es entonces bombardeada con luz ultravioleta mediante un proyector deslizante muy preciso llamado *alineador óptico*.

El alineador posee un dispositivo muy pequeño llamado *máscara*, que evita que la luz incida sobre ciertos puntos específicos de la pastilla. Cuando la luz alcanza un área determinada de la pastilla, elimina el photoresist presente en esa zona.

El químico (fósforo, arsénico o metal) se deposita en las regiones descubiertas por la luz e ignora las encubiertas por la máscara. Estas últimas zonas aún permanecen recubiertas de photoresist.

La precisión del alineador óptico determina qué tan fino puede hacerse un rasgo.

A comienzos de los años 70 era difícil hacer transistores de menos de 10 micras de tamaño. Hoy día, los transistores alcanzan tamaños inferiores a una micra. Esto permite una alta densidad y mejora

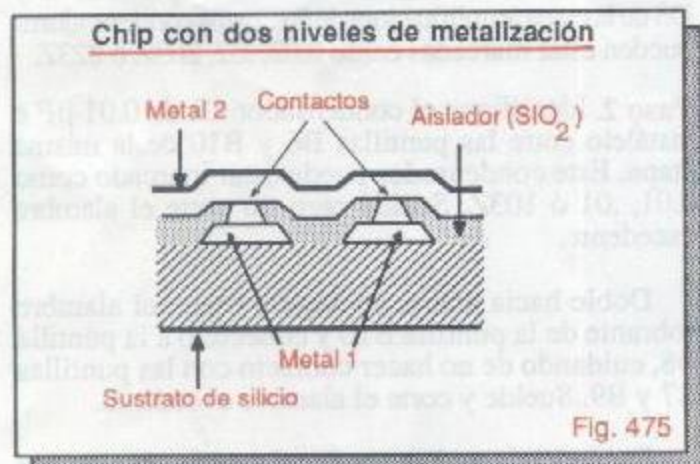


la velocidad de respuesta de los dispositivos. Una micra es la millonésima parte de un metro.

A continuación, la pastilla se calienta a altas temperaturas. Esto origina que el silicio no procesado de la superficie se convierta en óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). El  $\text{SiO}_2$  se esparce sobre la superficie de la pastilla y forma sobre la misma una delgada película aislante de unas pocas micras de espesor.

De este modo se obtiene el primer nivel de *metalización* del chip. Para obtener una nueva capa de metalización, el  $\text{SiO}_2$  se trata nuevamente con photoresist y se expone al alineador óptico, repitiéndose el mismo procedimiento seguido con el silicio del primer nivel.

Las diferentes capas van creciendo una sobre otra formando una estructura parecida a un sandwich, con el  $\text{SiO}_2$  como el pan y el metal o el silicio dopado como la salchicha (figura 475). Por cuestiones prácticas, la mayoría de CI's no se hacen con más de tres capas de metalización.



## El amplificador operacional

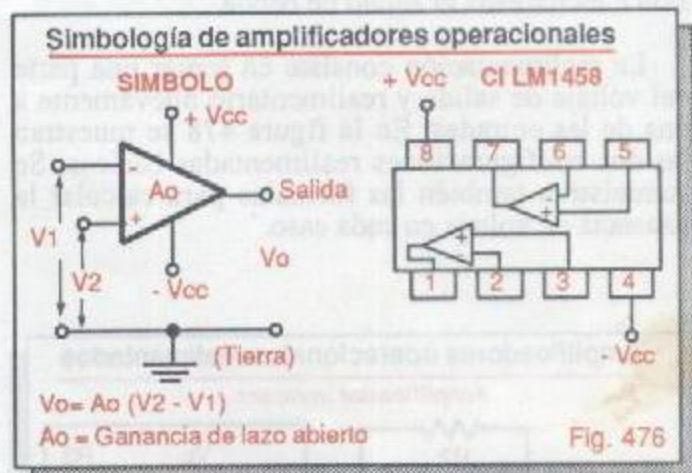
Un amplificador operacional (AO) es un circuito integrado análogo extremadamente versátil, utilizado para la amplificación de voltajes CA y CC, la generación de formas de onda, la producción de intervalos de tiempo, la comparación de voltajes y una gama muy variada de aplicaciones.

Los primeros amplificadores operacionales fueron desarrollados originalmente para realizar operaciones aritméticas y resolver electrónicamente ecuaciones matemáticas. Originaron los llamados computadores análogos, precursores de los computadores digitales de nuestros días.

Los amplificadores operacionales se caracterizan por su alta ganancia de voltaje, su alta impedancia de entrada y su baja impedancia de salida. La ganancia

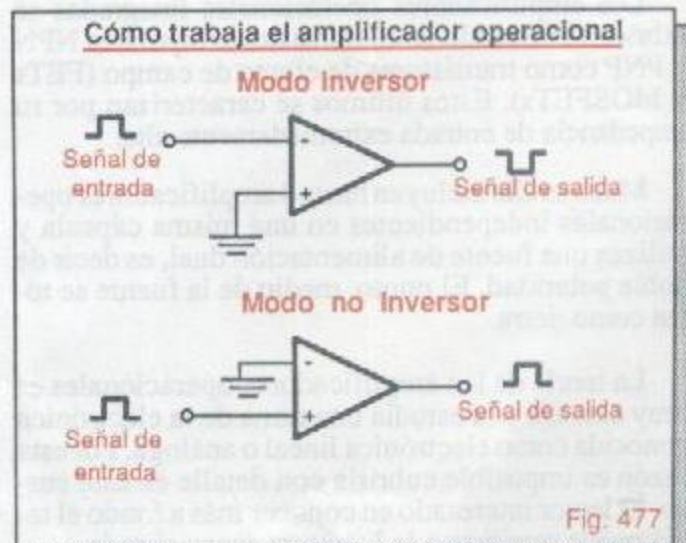
de voltaje es del orden de  $10^5$ , la impedancia de entrada del orden de  $10^6$  a  $10^{12} \Omega$  y la de salida del orden de  $100 \Omega$ .

En la figura 476 se muestra el símbolo utilizado para representar un amplificador operacional y la distribución de pines del popular CI LM1458. Este dispositivo posee 2 AOs en una misma cápsula de 8 pines y puede trabajar con tensiones de alimentación hasta de  $\pm 18\text{V}$ .



Un amplificador operacional posee dos entradas y una salida. Las entradas (-) y (+) se denominan inversora y no inversora, respectivamente. El voltaje de salida es proporcional a la **diferencia** de los voltajes aplicados a ambas entradas.

Si se aplica un voltaje a la entrada no inversora, el voltaje de salida tendrá la misma polaridad del voltaje de entrada. Si se aplica un voltaje a la entrada inversora, el voltaje de salida tendrá la polaridad contraria. Estos conceptos se ilustran en la figura 477.

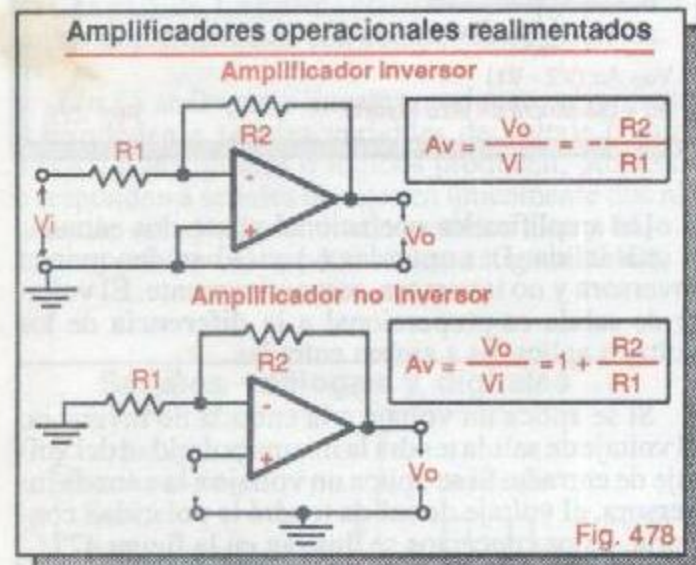




Los circuitos mostrados en la figura 477 utilizan el amplificador operacional en **lazo abierto**, es decir, sin realimentación. Este modo de operación se emplea principalmente en comparadores de voltaje. Un AO en lazo abierto trabaja con su máxima ganancia de voltaje posible, por ejemplo 80 dB.

La mayoría de circuitos utilizan el amplificador operacional en **lazo cerrado**, es decir realimentado negativamente. El empleo de realimentación negativa permite controlar la ganancia en un amplio rango, proporciona mayor estabilidad, reduce la distorsión e incrementa el ancho de banda.

La realimentación consiste en tomar una parte del voltaje de salida y realimentarlo nuevamente a una de las entradas. En la figura 478 se muestran las dos configuraciones realimentadas básicas. Se suministran también las fórmulas para calcular la ganancia de voltaje en cada caso.



Los amplificadores operacionales integrados se fabrican utilizando tanto transistores bipolares NPN y PNP como transistores de efecto de campo (FETs y MOSFETs). Estos últimos se caracterizan por su impedancia de entrada extremadamente alta.

Muchos CIs incluyen hasta 4 amplificadores operacionales independientes en una misma cápsula y utilizan una fuente de alimentación dual, es decir de doble polaridad. El punto medio de la fuente se toma como tierra.

La teoría de los amplificadores operacionales es muy extensa y la estudia una rama de la electrónica conocida como electrónica lineal o análoga. Por esta razón es imposible cubrirla con detalle en este curso. El lector interesado en conocer más a fondo el tema puede remitirse a la literatura especializada.

## Continuación actividad práctica Nº 19

### Ensamble del amplificador/conversor de RF. Parte 2.

En esta segunda parte de la Actividad 19 instalaremos en el tablero del radio AM CEKIT otra parte de los componentes que forman el amplificador/conversor de RF, la etapa marcada con color amarillo en la lámina correspondiente al diagrama esquemático del receptor.

#### Componentes necesarios

- 2 Condensadores cerámicos de .02µF/50V. C1, C15.
- 1 Condensador cerámico de .01µF/50V. C2.
- 1 Transistor NPN C1390 ó 2N2222. Q1
- 6 centímetros de alambre de conexión.

#### Procedimiento

**Paso 1.** Conecte el condensador C1 de 0.02 µF entre las puntillas B1 y 2 y el condensador C15 en paralelo con la resistencia R6 de 100KΩ entre las puntillas 43 y D3 de la etapa amplificadora de RF. Estos condensadores pueden estar marcados como 0.02, .02, 203Z ó 223Z.

**Paso 2.** Identifique el condensador C2 de 0.01 µF e instálelo entre las puntillas B6 y B10 de la misma etapa. Este condensador puede estar marcado como 0.01, .01 ó 103Z. Suelde pero **no** corte el alambre excedente.

Doble hacia abajo, en ángulo recto, el alambre sobrante de la puntilla B10 y conéctelo a la puntilla B8, cuidando de no hacer contacto con las puntillas B7 y B9. Suelde y corte el alambre excedente.

Doble hacia arriba, en ángulo recto, el alambre sobrante de la puntilla B6 y conéctelo a la puntilla B5. Suelde y corte el alambre excedente.

**Paso 3.** Identifique la base (B), el colector (C) y el emisor (E) del transistor Q1 C1390 ó 2N2222. Recuerde que el 2N2222 es un reemplazo del C1390 pero tiene una distribución de pines diferente. Para cualquier duda, refiérase a la actividad 16, parte 1.

Separe ligeramente los terminales del transistor Q1 y conéctelos a las puntillas B2, B4 y B5 así: la base (B) a la puntilla B2, el colector (C) a la puntilla B4 y el emisor (E) a la puntilla B5.

**Paso 4.** Con alambre de conexión conecte las puntillas 47 y B1. Suelde y corte el alambre excedente de la puntilla 47. Doble hacia la derecha, en ángulo recto, el alambre sobrante de la puntilla B1 y conéctelo a la puntilla B3. Suelde y corte el alambre excedente.



## Actividad práctica N° 20

### Análisis, prueba y ajuste de la segunda etapa de FI

#### Introducción

En las actividades prácticas N° 16 y 18 habíamos ensamblado las etapas de frecuencia intermedia del radio AM. Esta actividad tiene dos partes: primero vamos a conectar el transformador T3 para completar el ensamble de la etapa, y luego vamos a realizar un análisis completo de este circuito.

El estudio comprende un análisis estático, o sea la medida de los voltajes y corrientes de polarización en corriente continua, y un análisis dinámico con el fin de aplicar señales reales a la etapa y lograr la calibración o alineamiento óptimo del transformador T3 para que quede debidamente sintonizado.

Para realizarlo es necesario tener disponible un multímetro análogo o digital que tenga una escala para medir corrientes bajas en miliamperios. Con el segundo análisis ajustamos la etapa para una ganancia o amplificación máxima a la frecuencia intermedia de 455 KHz.

Para esta prueba necesitamos un generador de RF y un osciloscopio. También se puede utilizar el generador de FI de 455 KHz cuya construcción se explicó en la actividad práctica N° 17.

Si no tiene estos instrumentos, puede conseguirlos prestados en un instituto, colegio, universidad o taller de radio o electrónica. Aprender a utilizarlos es uno de los principales objetivos de este curso.

Si de todas maneras no tiene acceso a ellos, realice solamente el análisis estático con el multímetro y al final daremos las instrucciones para calibrar el radio sin necesidad de estos instrumentos. Este procedimiento es más difícil pero también logra sus resultados.

#### Instalación del transformador T3

Tome T3 (el segundo transformador de FI), el cual se puede identificar por el núcleo de color negro y suéldelo a las puntillas E11, E12, E13, C1 y C2. Luego conecte la cubierta del transformador T3 al alambre sobrante de la puntilla E10.

#### Análisis estático No.1 - Consumo de corriente

Este análisis tiene como objetivo medir el consumo total de corriente del amplificador de audio y las dos etapas de FI.

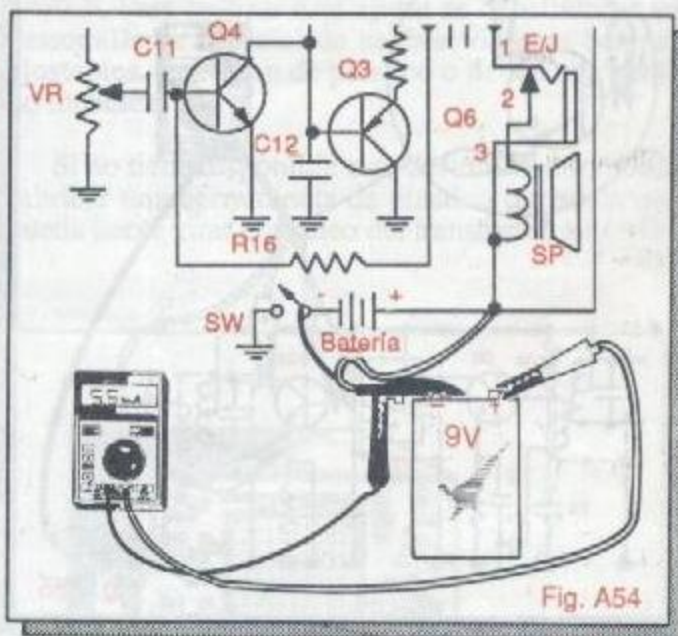
Esta corriente no debe sobrepasar el valor de 30 mA. Si esto sucede tendrá que buscar un posible corto en el circuito.

#### Procedimiento

**Paso 1.** Coloque un puente de alambre momentáneamente entre las puntillas E3 y E4. Deje conectado este puente durante todo el análisis de la segunda etapa.

**Paso 2.** Coloque el multímetro en la gama de corriente continua y en una escala igual o un poco mayor a 30 mA.

**Paso 3.** Conecte la batería al radio intercalando el multímetro en serie entre ésta y el circuito como se muestra en la figura A54.



**Paso 4.** Encienda el radio y observe la corriente medida por el multímetro; escriba su valor.

$IT = \text{_____ mA}$  ( $IT =$  Corriente total)

Esta es la corriente total que consumen las etapas de audio y las de FI.

#### Análisis estático No. 2

##### Polarización del transistor Q3

El objetivo de este análisis es medir los voltajes de corriente continua con que están alimentadas las junturas del transistor Q3 y a partir de estas mediciones concluir si están bien polarizadas para que este transistor funcione en su punto óptimo.



## Procedimiento

**Paso 1.** Ajuste el multímetro en una escala un poco mayor a 9 voltios en corriente continua. Conecte el terminal negativo a la tierra del radio. Utilice cualquiera de las puntillas 11, 12, 13, 14, 15 o 16 o el alambre que las une.

**Paso 2.** Una la batería a su conector y encienda el radio.

**Paso 3.** Vaya tocando con el terminal positivo del multímetro uno a uno los terminales del transistor, el colector (E7), la base (E4) y el emisor (E8). Anote cada medida de voltaje en la tabla 1. Figura A55.

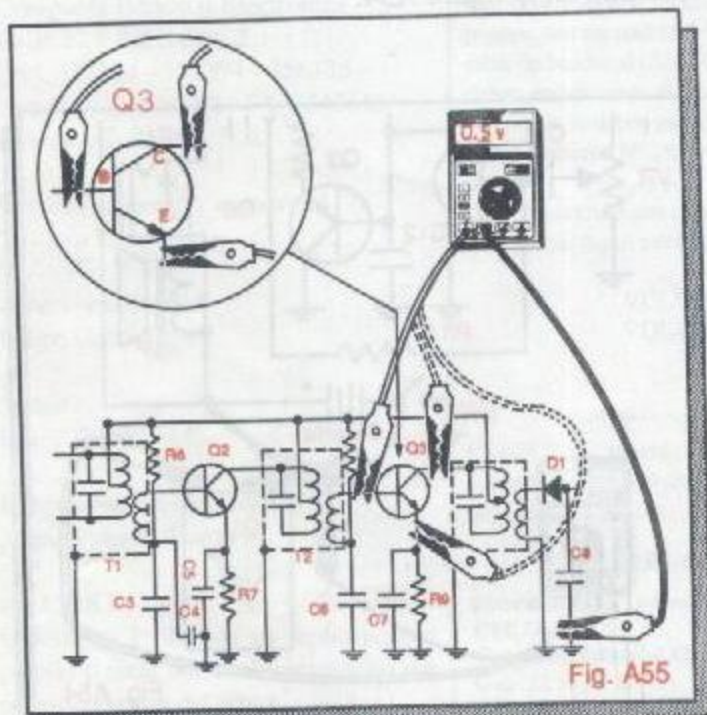


Fig. A55

Transistor	Tipo	VC	VE	VB	VBE = VB - VE	VCB = VC - VB
Q3	NPN					

Tabla 1

Como ya se había dicho anteriormente, un transistor conduce sólo cuando su juntura E-B está directamente polarizada y su juntura C-B está inversamente polarizada.

Como Q3 es un transistor NPN, la juntura B-E está directamente polarizada cuando la base es positiva con respecto al emisor ( $V_{BE} = \text{positivo}$ ) y la juntura C-B estará polarizada cuando el colector es positivo con respecto a la base ( $V_{CB} = \text{positivo}$ ).

## Análisis estático No. 3

### Midiendo la corriente del colector de Q3

En este análisis mediremos la corriente de colector del transistor Q3 colocando el multímetro en el modo de corriente y sus terminales en serie con el colector de Q3.

De esta forma obtenemos un dato real de la corriente circulante por este transistor y podemos concluir si Q3 está trabajando correctamente.

## Procedimiento

**Paso 1.** Coloque el multímetro en una escala para medir corriente en corriente continua un poco mayor a 5 mA.

**Paso 2.** Mida la corriente de colector de Q3 desconectando el terminal del colector de la puntilla E7 como se muestra en la figura A56, teniendo en cuenta la polaridad de los terminales. El valor medido es

$$I_c \text{ de Q3} = \text{_____ mA}$$

Si la aguja del multímetro análogo se desplaza hacia la izquierda o el multímetro digital muestra un valor negativo, invierta sus terminales.

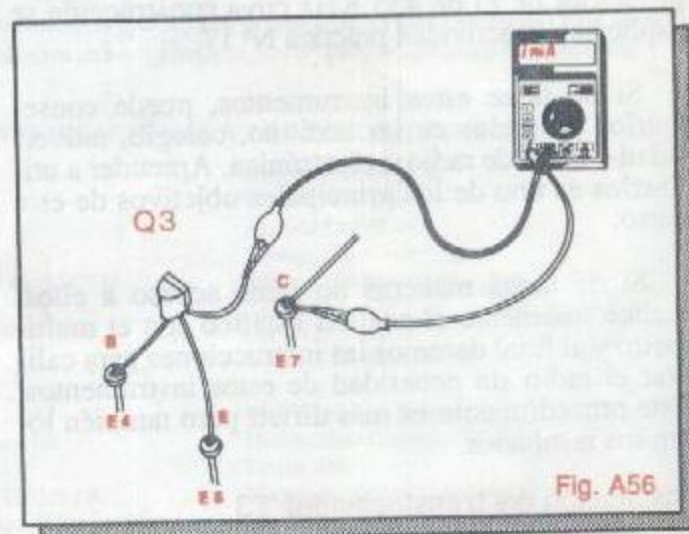


Fig. A56

Si el circuito está correcto, la corriente debe tener un valor entre 3 y 10 mA. Si no hay corriente o está muy alta, se debe revisar el circuito.

## Análisis dinámico No. 1

### Alineamiento o calibración del transformador T3 y cálculo de la ganancia de voltaje del transistor Q3

Este análisis tiene como objetivo colocar al transformador T3 en su punto óptimo de trabajo, es de-



cir, que produzca una ganancia máxima de esta etapa para una señal de 455 KHz.

Calcularemos también la amplificación de voltaje de esta segunda etapa de FI para dicha señal.

Para realizar este ajuste vamos a inyectar por medio de un generador de RF o con el generador de 455 KHz, una señal de FI sin modular y con una amplitud aproximada de 40 mVpp ( milivoltios pico a pico ) en la base del transistor Q3.

## Procedimiento

**Paso 1.** Encienda el generador de RF y el osciloscopio.

**Paso 2.** Conecte el caimán negro (tierra) del generador de RF y del osciloscopio a la tierra del radio (puntas 1 a 21).

**Paso 3.** Conecte el terminal del osciloscopio a la base de Q3 (puntilla E4) como se muestra en la figura A57.

**Paso 4.** Coloque la perilla TIME/DIV del osciloscopio en 2  $\mu$ s y la perilla VOLT/DIV en 1 mV preferiblemente.

Si su osciloscopio no posee estas escalas, elija otra similar o cercana a estos valores.

**Paso 5.** Ajuste el generador de RF para tener en su salida una señal sin modulación de 455 KHz y con una amplitud de 40 mVpp.

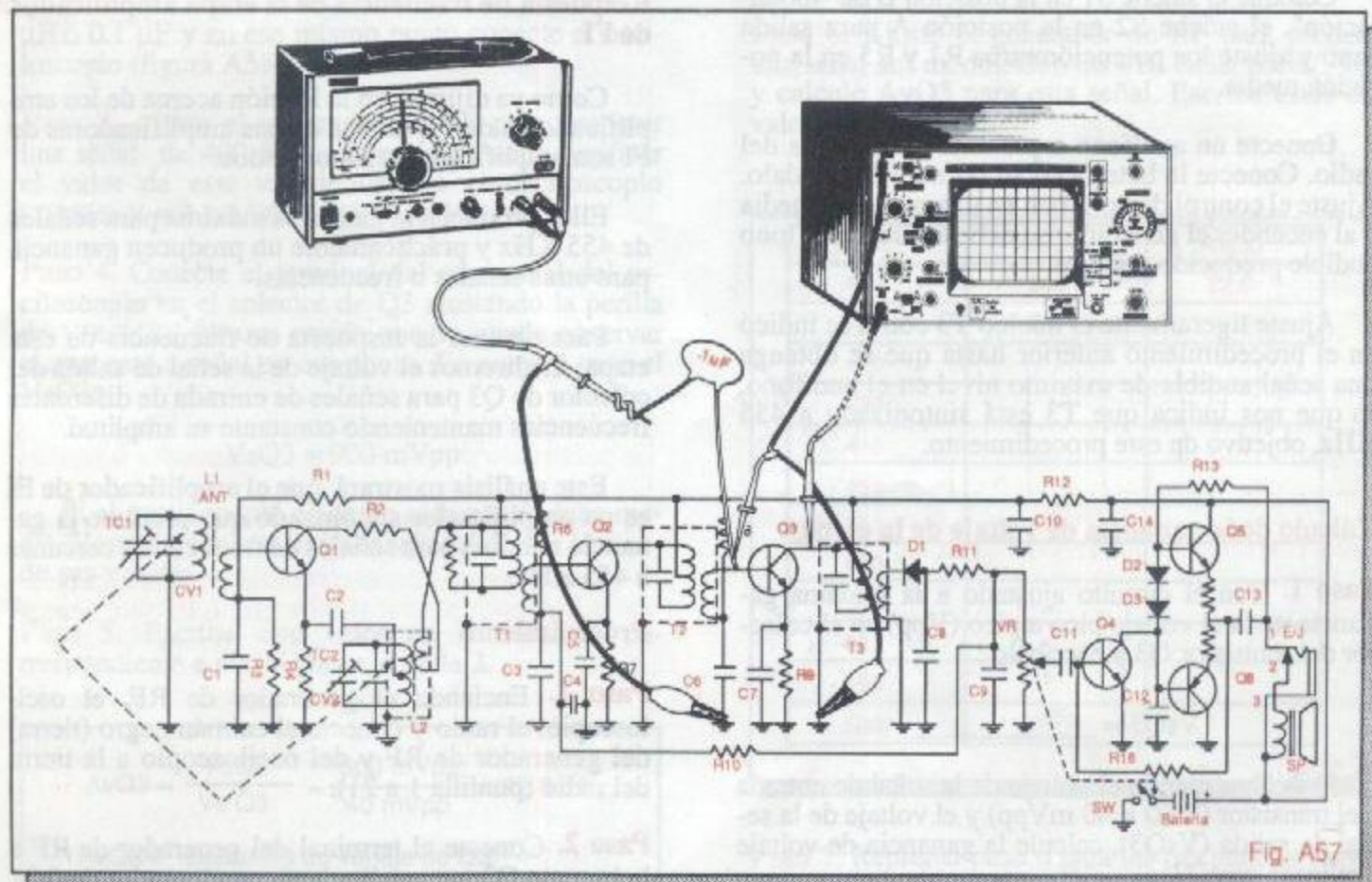
Cuando esté seguro que tiene la señal de 455 KHz a 40 mVpp en la base de Q3 puede continuar con el paso siguiente.

**Paso 6.** Conecte la batería en su borne y encienda el radio.

**Paso 7.** Conecte el otro terminal del osciloscopio en el colector de Q3 (figura A57) y tenga en cuenta que este canal debe estar en su escala mayor, por ejemplo VOLT/DIV en 0.2 VOL/DIV, ya que hay que tener en cuenta la amplificación del transistor.

**Paso 8.** Para realizar este ajuste se debe utilizar un destornillador especial de calibración para bobinas ajustables. Estos son de plástico o tienen una punta no metálica.

Si no tiene disponible este destornillador, puede fabricar una herramienta de plástico o madera que pueda hacer girar el núcleo del transformador.





Con esta herramienta ajuste el núcleo del transformador T3 hasta obtener la máxima amplitud de la señal en la pantalla del osciloscopio.

Gire lentamente el tornillo del núcleo hacia la izquierda o derecha observando en cuál dirección va tomando la señal una mayor amplitud.

Trate con mucho cuidado estos núcleos ya que son muy delicados.

Cuando se obtiene la máxima señal, el osciloscopio nos indica que el transformador está sintonizado en la máxima resonancia a la frecuencia de FI de 455 KHz.

Si usted no tiene acceso a un osciloscopio ni a un generador de RF, puede utilizar el generador de 455 KHz con señal de modulación para ajustar el transformador de FI, T3. Antes de utilizar el generador, éste debe estar calibrado para que entregue una señal con la frecuencia exacta.

Para hacerlo, utilice la salida de onda seno del generador por el borne J4. Conecte la tierra del generador a la tierra del radio y el otro terminal a la base de Q3 por medio de un condensador de cerámica de 0.1  $\mu$ F en serie.

Coloque el suiche S1 en la posición B de "modulación", el suiche S2 en la posición A para salida seno y ajuste los potenciómetros R1 y R5 en la posición media.

Conecte un audífono o parlante en la salida del radio. Conecte la batería en su borne y enciéndalo. Ajuste el control de volumen en una posición media y al encender el generador se debe escuchar un tono audible producido por éste.

Ajuste ligeramente el núcleo T3 como se indicó en el procedimiento anterior hasta que se obtenga una señal audible de máximo nivel en el audífono, lo que nos indica que T3 está sintonizado a 455 KHz, objetivo de este procedimiento.

### Cálculo de la ganancia de voltaje de la etapa

**Paso 1.** Con el circuito ajustado a la máxima ganancia mida el voltaje pico a pico (Vpp) en el colector del transistor Q3 y escríbalo:

$$V_{sQ3} = \underline{\hspace{2cm}}$$

**Paso 2.** Conociendo el voltaje de la señal de entrada del transistor ( $V_{EQ} = 40 \text{ mVpp}$ ) y el voltaje de la señal de salida ( $V_{sQ3}$ ), calcule la ganancia de voltaje realizada por Q3.

$$A_{vQ3} = \frac{V_{sQ3}}{V_{EQ}} = \frac{\hspace{1cm}}{40 \text{ mVpp}}$$

$$A_{vQ3} = \text{Ganancia de voltaje de Q3}$$

**Nota:** Para calcular  $A_{vQ3}$  y  $V_{sQ3}$  debe utilizarse el mismo submúltiplo de voltaje.

Por ejemplo, ambos voltajes deben estar en milivoltios ( $1\text{V} = 1000 \text{ mV}$ ). La ganancia de voltaje puede expresarse también en decibeles o decibelios de la siguiente forma:

$$A_{v\text{dB}} = 20 \text{ Log } \frac{V_{sQ3}}{V_{EQ}}$$

Calcule la amplificación de Q3 en dB.

$$A_{vQ3} (\text{dB}) = 20 \text{ Log } ( \quad ) / ( \quad )$$

### Análisis dinámico No. 2

#### Respuesta de frecuencia de la etapa amplificadora de FI

Como ya dijimos en la lección acerca de los amplificadores de FI, ambas etapas amplificadoras de FI son amplificadores sintonizados.

Ellos producen la ganancia máxima para señales de 455 KHz y prácticamente no producen ganancia para otras señales o frecuencias.

Para obtener la respuesta de frecuencia de esta etapa, mediremos el voltaje de la señal de salida del colector de Q3 para señales de entrada de diferentes frecuencias manteniendo constante su amplitud.

Este análisis mostrará que el amplificador de FI es un amplificador sintonizado que produce la ganancia máxima para señales de frecuencias cercanas a 455 KHz.

#### Procedimiento

**Paso 1.** Encienda el generador de RF, el osciloscopio, el radio y conecte el caimán negro (tierra) del generador de RF y del osciloscopio a la tierra del radio (puntilla 1 a 21).

**Paso 2.** Conecte el terminal del generador de RF a la base de Q3 por medio de un condensador de 0.01



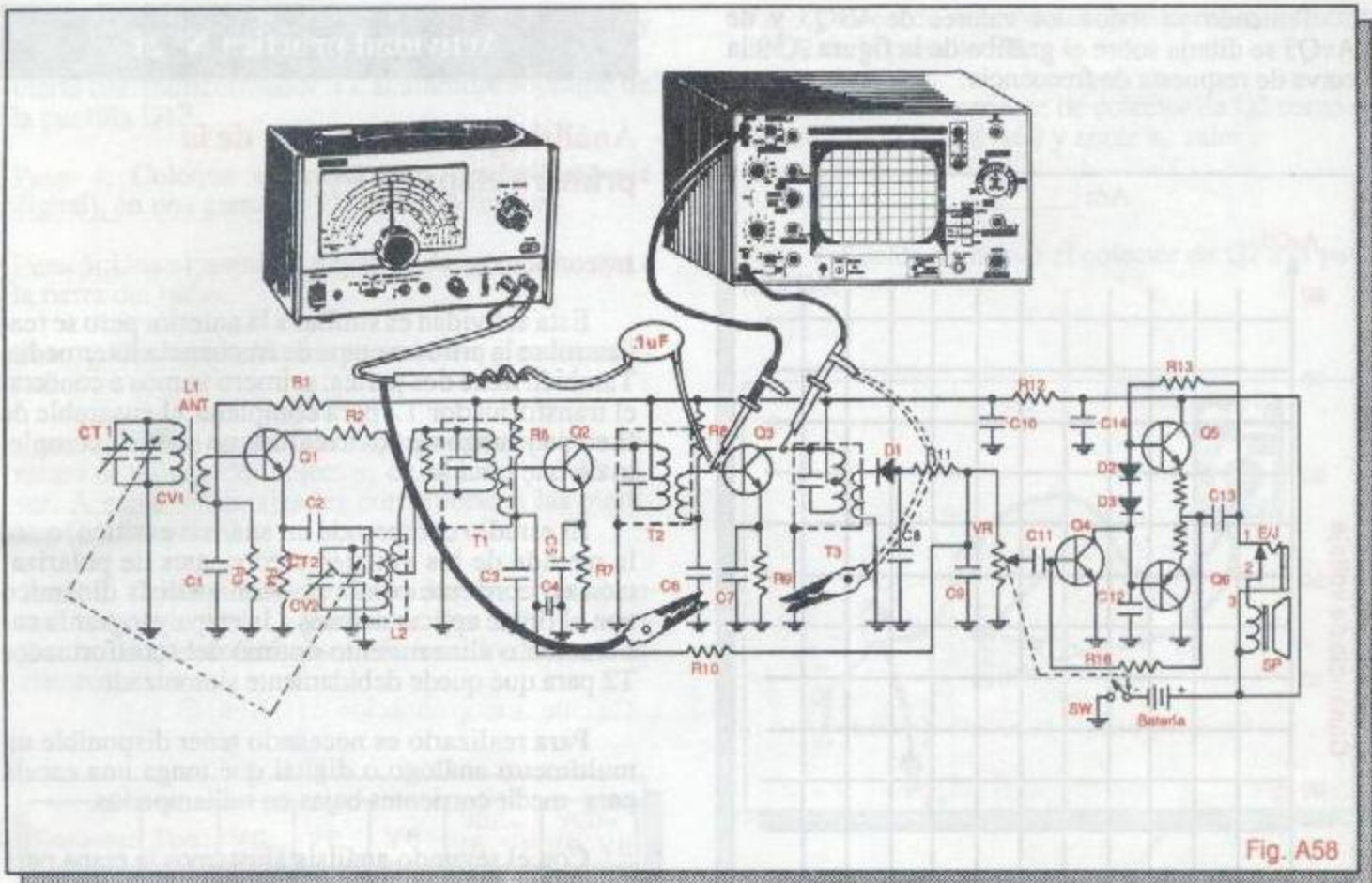


Fig. A58

$\mu\text{F}$  ó  $0.1 \mu\text{F}$  y en ese mismo punto conecte el osciloscopio (figura A58).

**Paso 3.** Ajuste el generador de RF para producir una señal de 400 KHz, 40 mVpp. Puede verificar el valor de este voltaje usando el osciloscopio (TIME/DIV =  $2 \mu\text{s}$ , VOLT/DIV = 1mV).

**Paso 4.** Conecte el terminal del otro canal del osciloscopio en el colector de Q3 ajustando la perilla de VOLT/DIV en una escala que se pueda observar claramente a señal en ese punto. En nuestro caso el  $V_{sQ3}$ :

$$V_{sQ3} = 900 \text{ mVpp}$$

Si el osciloscopio es de un solo canal, debe medir alternadamente la entrada y la salida e ir anotando sus valores.

**Paso 5.** Escriba este valor en la columna correspondiente a 400 KHz en la tabla 2.

$$A_{vQ3} = \frac{V_{sQ3}}{V_{E Q3}} = \frac{900 \text{ mVpp}}{40 \text{ mVpp}} = 22.5$$

$A_{vQ3}$  = Ganancia de voltaje de Q3

**Paso 6.** Ajuste el generador de RF para producir una señal sin modulación de 410 KHz, mida  $V_{sQ3}$  y calcule  $A_{vQ3}$  para esta señal. Escriba estos dos valores en la tabla 2.

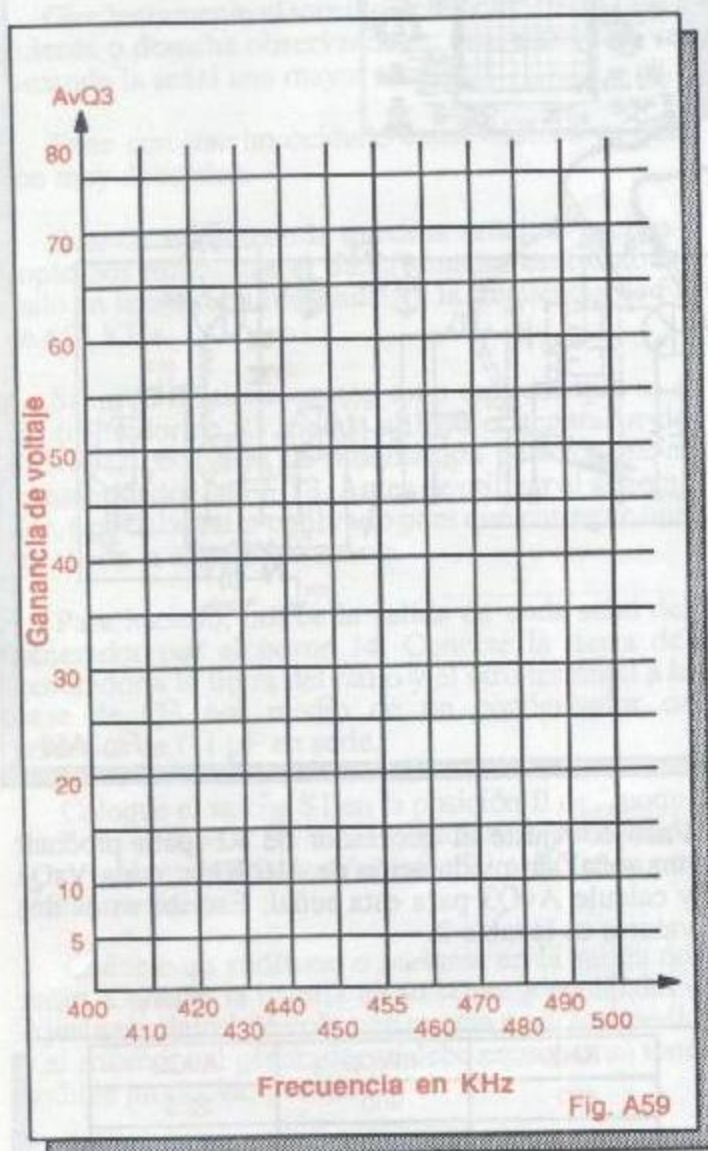
KHz	mVpp	$A_{vQ3}$
400	900	22.5
410		
420		
430		
440		
450		
455		
460		
470		
480		
490		
500		

Tabla 2

**Paso 7.** Repita el paso 6 para las frecuencias mayores a 410 KHz y anote en la tabla 2 hasta llenarla.



Teniendo ya todos los valores de  $V_{sQ3}$  y de  $A_{vQ3}$  se dibuja sobre el gráfico de la figura A59 la curva de respuesta de frecuencia.



En el eje horizontal están las respectivas frecuencias que corresponden a las ganancias calculadas y que están situadas en el eje vertical.

Por ejemplo, si para 400 KHz nos dio una ganancia de 22.5, situándose sobre este valor subimos hasta encontrar la ganancia de 22.5 en el eje vertical.

Marque con el lápiz el punto de cada frecuencia en la figura. Después de haber dibujado todos los puntos sobre la gráfica, únalos para obtener la curva de respuesta de frecuencia.

Esta curva debe tener su amplitud máxima para el valor de frecuencia de 455 KHz tal como se había estudiado en las lecciones teóricas sobre este tema.

## Actividad práctica N° 21

### Análisis, prueba y ajuste de la primera etapa de FI

#### Introducción

Esta actividad es similar a la anterior pero se realiza sobre la primera etapa de frecuencia intermedia. También tiene dos partes: primero vamos a conectar el transformador T2 para completar el ensamble de la etapa y luego vamos a realizar un análisis completo de este circuito.

El estudio comprende un análisis estático, o sea la medida de los voltajes y corrientes de polarización en corriente continua, y un análisis dinámico con el fin de aplicar señales a la etapa y lograr la calibración o alineamiento óptimo del transformador T2 para que quede debidamente sintonizado.

Para realizarlo es necesario tener disponible un multímetro análogo o digital que tenga una escala para medir corrientes bajas en miliamperios.

Con el segundo análisis ajustamos la etapa para una ganancia o amplificación máxima a la frecuencia intermedia de 455 KHz.

Para esta prueba necesitamos un generador de RF y un osciloscopio. También se puede utilizar el generador de FI de 455 KHz cuya construcción se explicó en la actividad práctica N° 17.

#### Análisis estático No. 1

#### Medición del voltaje de polarización de Q2

#### Procedimiento

El objetivo de este análisis es medir los voltajes de polarización de corriente continua del transistor Q2 y concluir del estudio de estas medidas si el transistor está correctamente polarizado o no.

**Paso 1.** Haga un puente temporal entre las puntillas D4 y D3. Este puente permanecerá durante todo el análisis de esta actividad.

**Paso 2.** Tome T2 (el primer transformador de FI), el cual se puede identificar por el núcleo de color blanco y suéldelo a las puntillas D15, D16, D17, E1 y E2.

Compruebe que los alambres ya soldados en las puntillas no se hayan desconectado.



**Paso 3.** Asegúrese que las puntillas D15, D16 y D17 no se toquen entre sí. Luego conecte la cubierta del transformador T2 al alambre sobrante de la puntilla D13.

**Paso 4.** Coloque el multímetro (preferiblemente digital), en una gama de 9V en CC o mayor.

**Paso 5.** Una el terminal negativo de su multímetro a la tierra del radio.

**Paso 6.** Conecte la batería en su borne y encienda el radio.

**Paso 7.** Mida con el terminal positivo del multímetro el voltaje del colector, de la base y del emisor. A estos terminales les corresponden las puntillas D8, D4 y D9.

**Paso 8.** Con los valores obtenidos en el paso anterior llene la tabla 3 y observe que aquí se comprueba lo que definimos en la lección de los transistores.

Transistor	Tipo	VC	VE	VB	VBE = VB - VE	VCB = VC - VB
Q2	NPN					

Tabla 3

Estos conducirán cuando la juntura B-E esté directamente polarizada y la juntura C-B esté inversamente polarizada.

Siendo Q2 un transistor NPN, la juntura B-E está directamente polarizada cuando la base es positiva con respecto al emisor ( $V_{BE} = \text{positivo}$ ).

La juntura C-B está inversamente polarizada cuando el colector es positivo con referencia a la base ( $V_{CB} = \text{positivo}$ ).

### Análisis estático No. 2

#### Midiendo la corriente de colector del transistor Q2

En el análisis estático No. 2 debemos verificar que el transistor Q2 tenga el valor correcto de corriente de colector.

#### Procedimiento

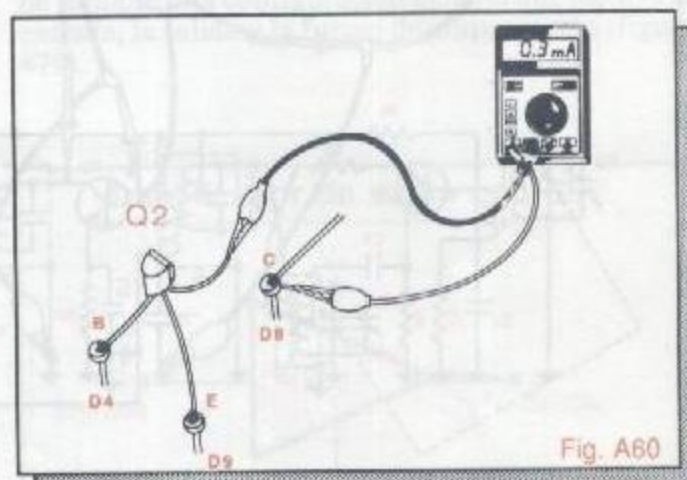
**Paso 1.** Coloque el multímetro en la gama de corriente continua y en una escala mayor o igual a 5 mA.

**Paso 2.** Desconecte momentáneamente el colector de Q2 de la puntilla D8.

**Paso 3.** Mida la corriente de colector de Q2 como se muestra en la figura A60 y anote su valor:

$$I_{CQ2} = \text{_____ mA}$$

**Paso 4.** Suelde de nuevo el colector de Q2 a la puntilla D8.



### Análisis dinámico No. 3

#### Calibración del transformador T2 y cálculo de la ganancia de voltaje del transistor Q2

El objetivo de este análisis es alinear o calibrar el transformador T2 para producir una ganancia máxima de la etapa para señales de 455 KHz. Calcularemos también la amplificación o ganancia de voltaje de la etapa para esta misma señal.

#### Procedimiento

**Paso 1.** Encienda el generador de RF (o su generador CEKIT), y el osciloscopio.

**Paso 2.** Conecte el terminal negativo del generador de RF y la tierra del osciloscopio al negativo del radio (puntillas 1 a 21).

**Paso 3.** Conecte el terminal de señal del generador de RF a la base de Q2 (puntilla D40) intercalando en serie un condensador de  $0.01 \mu F$  o de  $0.1 \mu F$ .

**Paso 4.** Conecte un canal del osciloscopio también a la base de Q2. Observe la figura A61.

**Paso 5.** Coloque la perilla TIME/DIV del osciloscopio en  $2 \mu s$  y la perilla VOLT/DIV en 1 mV. Ajuste el generador de RF para producir una señal sin modulación de 455 KHz.



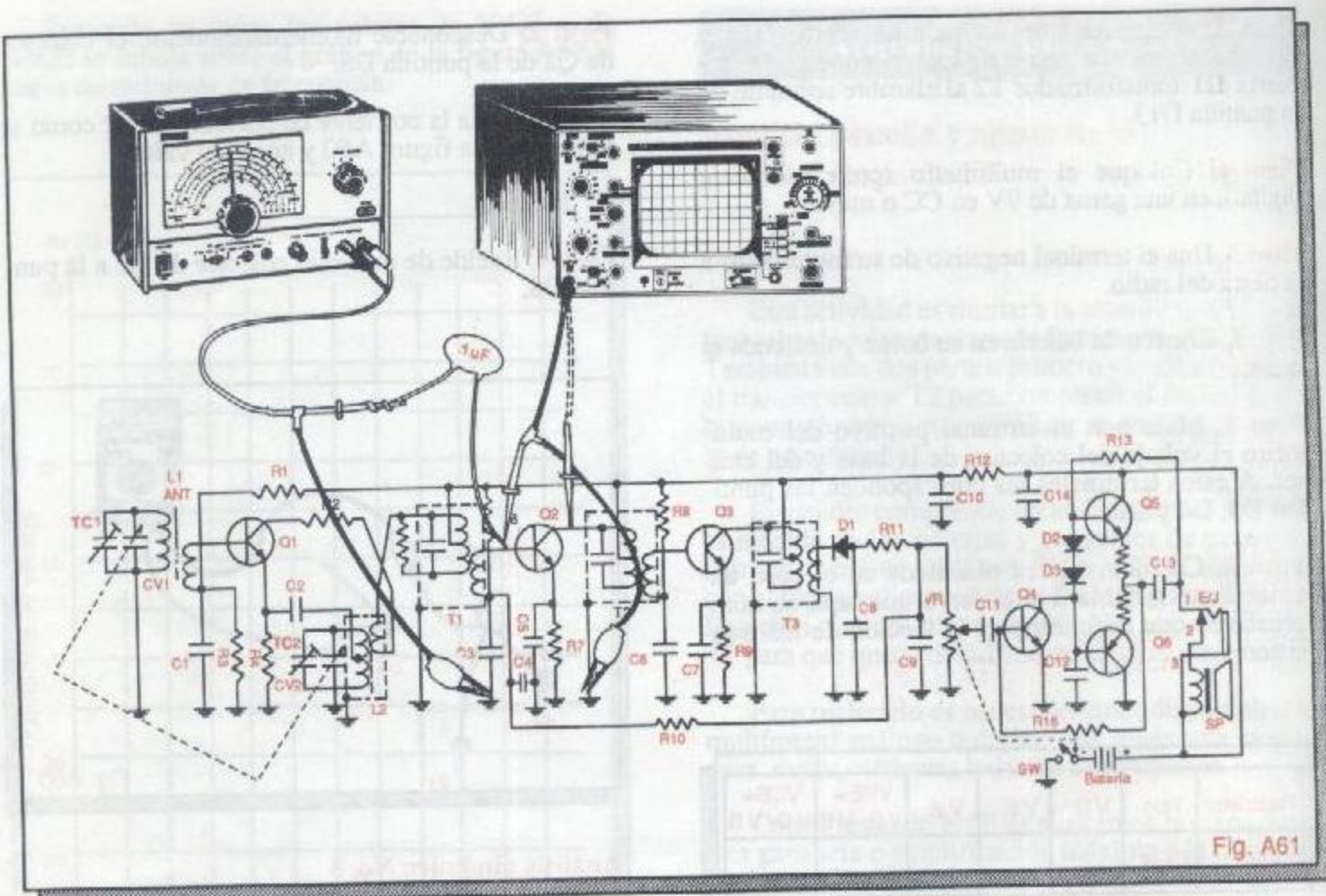


Fig. A61

Ajuste la perilla de nivel de salida del generador de RF para producir una señal de 40 mVpp. Usted medirá el voltaje de esta señal usando un osciloscopio; por lo tanto, recuerde la atenuación de los terminales.

**Paso 6.** Una la batería a su conector de batería y encienda el radio.

Desenganche el terminal del osciloscopio de la base de Q2 y conéctelo al colector de Q2.

Cambie la posición de la perilla VOLT/DIV del osciloscopio para ver la señal en el colector. (VOLT/DIV = 0.2 voltios).

**Paso 7.** De la misma forma que se explicó en la actividad anterior, ajuste el tornillo sintonizador de T2 hasta obtener la máxima amplitud de la señal en la pantalla del osciloscopio.

Calcule el voltaje pico a pico ( $V_{sQ2}$ ) de la señal y escríbala.

$$V_{sQ2} = \text{_____ mVpp}$$

**Paso 8.** Apague el radio, el generador de RF y el osciloscopio y desenganche los terminales.

**Paso 9.** Conociendo el voltaje de la entrada ( $V_{EQ2} = 40 \text{ mVpp}$ ) y la señal de salida del transistor Q2, calcule la ganancia de voltaje.

$$A_{vQ2} = \frac{V_{sQ2}}{V_{EQ2}} = \frac{\text{_____}}{40 \text{ mVpp}}$$

Ahora calcule la ganancia de voltaje en dB.

$$A_{vQ2} = 20 \text{ Log } A_{vQ2} = \text{_____}$$

**Nota:** Probablemente usted notará que la ganancia de voltaje de esta etapa es más pequeña que la de la segunda etapa amplificadora de FI.

Esto es así porque estamos inyectando una señal relativamente fuerte en la base de Q2. Por eso, el CAG causa que la amplificación de esta etapa sea pequeña.

**Paso 10.** Desconecte el puente entre las puntillas D4 y D3.

Si ha realizado este ajuste correctamente, la primera etapa de FI estará alineada en este momento.



## Circuitos amplificadores de audio para radios AM y FM con circuitos integrados

En la Lección 18 estudiamos el tema general de los amplificadores de audio y como aplicación se analizó el amplificador del radio AM CEKIT que ha servido como actividad de práctica y experimentación en este curso.

En esta lección se analizaron circuitos con transistores bipolares y con transistores de efecto de campo o FET's.

Actualmente se ha desarrollado con gran rapidez la tecnología de los circuitos integrados. Dentro de los diferentes tipos de éstos, se encuentra una familia muy numerosa y de gran aplicación que es la de los amplificadores de audio integrados.

Debido a su pequeño tamaño, gran eficiencia y fácil utilización se ha popularizado su uso en etapas de audio de radio AM, FM, aparatos de TV, equipos de sonido, pasacintas para automóviles, radiotelefonos, intercomunicadores y muchos otros.

Un circuito integrado amplificador de audio contiene en su interior todos o casi todos los componentes que forman una etapa como las que se estudiaron en la Lección 18.

Existe actualmente una gran cantidad de modelos o referencias con potencias desde 0.5W hasta 100W o más, elaborados por varios fabricantes.

Debido a que este tema es de gran actualidad e importancia en cualquier estudio de radio vamos a presentar varios circuitos de este tipo con algunos comentarios sobre su diagrama, conexión y funcionamiento.

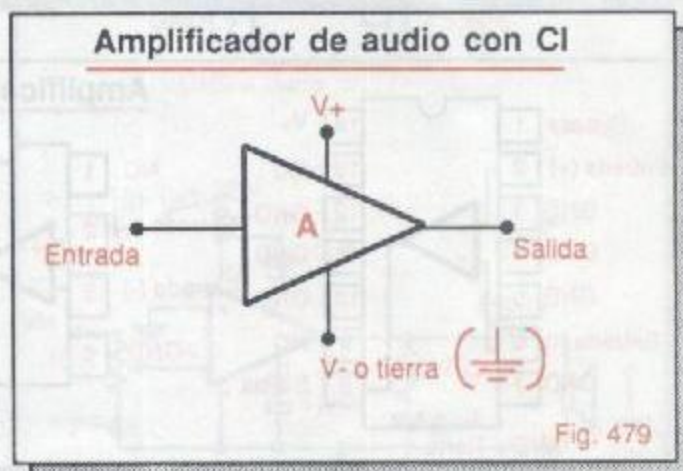
Para circuitos de radio vamos a conocer circuitos con potencias hasta de 10 vatios, suficiente para irradiar el sonido con muy buen volumen en un recinto cerrado.

Como ya lo hemos mencionado, una de las características más importantes de estos circuitos es la facilidad para su conexión.

Con unos pocos componentes adicionales, cualquier persona con conocimientos básicos de electrónica puede armar un amplificador de audio ya sea para aumentar el volumen de un radio, una grabadora o un tocadisco.

### Configuración general

Un circuito integrado amplificador de audio tiene siempre una configuración general que incluye la entrada, la salida y la fuente de alimentación (figura 479).



Además de estos pines tiene unos terminales auxiliares para la conexión de algunos componentes externos que se utilizan para determinar las características de la etapa. El número de estos terminales varía según el modelo o referencia del circuito integrado y depende de su complejidad interna.

En la figura 480 tenemos el diagrama, el circuito interno y el aspecto físico de uno de estos circuitos integrados, el LM 386 fabricado por National Semiconductor.

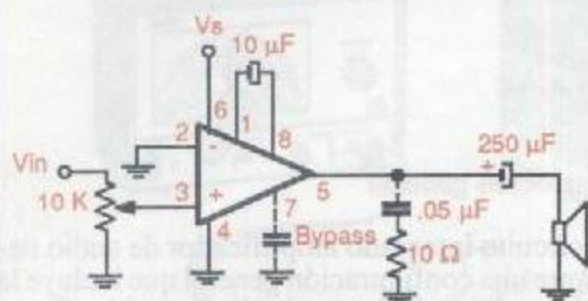
Como se puede observar, en su interior están conectados varios transistores, diodos y resistencias de tal manera que cumplen la función de amplificador de audio. Más adelante mostraremos la forma de conectarlo como amplificador de señal.

A continuación vamos a conocer algunos de los modelos más comunes de este tipo de pines y sus circuitos de aplicación.

Conoceremos la familia de circuitos de National Semiconductor, que es una de las fábricas que más referencias tiene, especialmente en circuitos de baja potencia.



## Circuito Integrado amplificador de audio



Circuito de aplicación



Diagrama

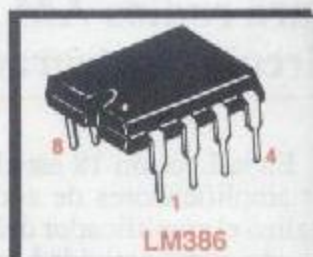
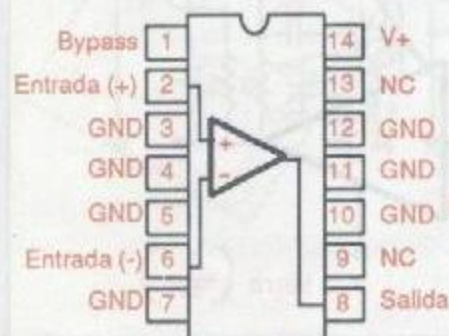
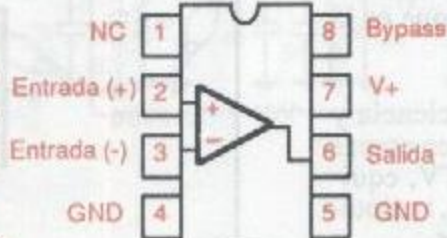
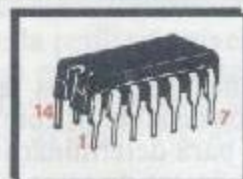


Fig. 480

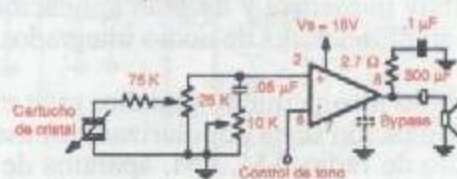
## Amplificador LM380



GND = Tierra



### Amplificador de tocadisco



### Puente amplificador

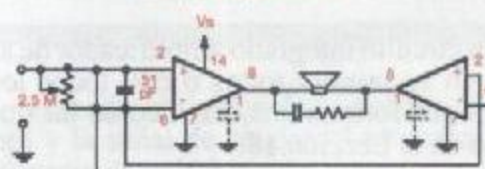


Fig. 481

## Circuito LM380

Este fue uno de los primeros circuitos de este tipo y aún se sigue utilizando ampliamente. Se fabrica en dos versiones: de 14 pines y de 8 pines.

En la figura 481 tenemos sus diagramas de pines, características eléctricas y dos circuitos de aplicación. Note que en el segundo circuito se utiliza una configuración en puente con la que se obtiene mayor potencia conectando dos circuitos iguales.

Este tipo de configuración es muy común en estos circuitos como lo veremos más adelante.

Para aplicar un circuito integrado amplificador de audio a un radio se toma la señal del detector y se lleva a la entrada del circuito. La fuente de alimentación y la tierra deben ser comunes. El parlante va a la salida del circuito integrado (figura 482).

## Conexión de un radio a un CI

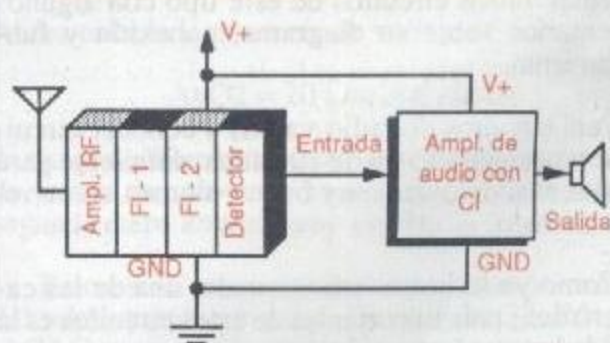


Fig. 482

## Circuito LM386

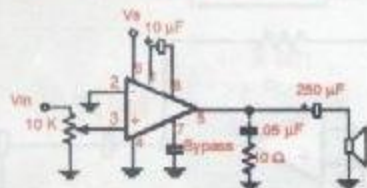
Este circuito está diseñado para trabajar a bajos voltajes y es muy práctico para ser utilizado en ra-



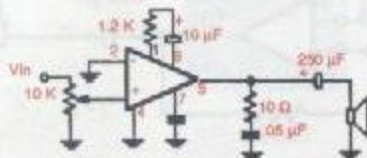
## Circuito LM386



**Amplificador de ganancia = 200**



**Amplificador de ganancia = 50**



**Amplificador para radio AM**

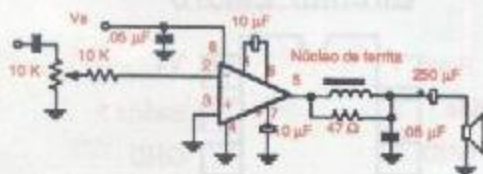


Fig. 483

dios AM y FM pequeños. La figura 483 muestra su diagrama de pines y algunos circuitos de aplicación.

Una de sus funciones es la de poder variar su ganancia por medio de componentes externos conectados entre los pines 1 y 8. Si no hay nada conectado, la ganancia es de 20; con un condensador la ganancia es de 200 y con una resistencia en serie con un condensador se puede variar la ganancia entre 20 y 200.

Los componentes que están conectados con líneas punteadas son opcionales y mejoran la calidad del sonido.

## Circuito LM384

EL LM384 es un circuito integrado que suministra una potencia hasta de 5 vatios. Por su confi-

guración interna, requiere muy pocos componentes externos, lo que hace muy fácil su conexión. En la figura 484 tenemos el diagrama de pines y un circuito de aplicación.

## Circuito LM384

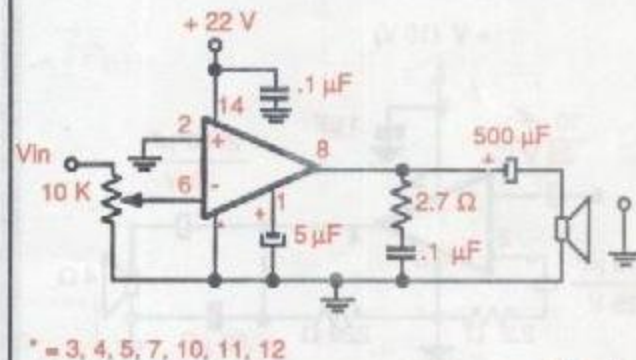


Fig. 484

La salida tiene protección contra cortocircuito por medio de limitación térmica. Debido a su potencia, este circuito alcanza una temperatura alta y se le debe instalar un disipador de calor como el que se muestra en la figura 485.

## Disipador de calor para CI

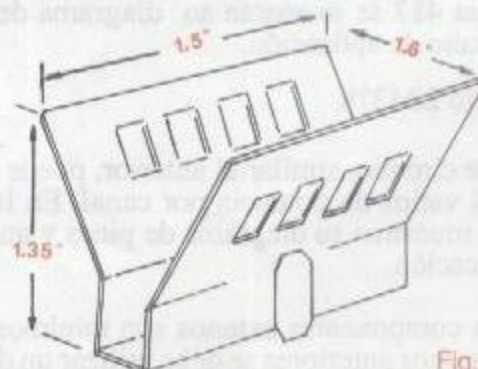


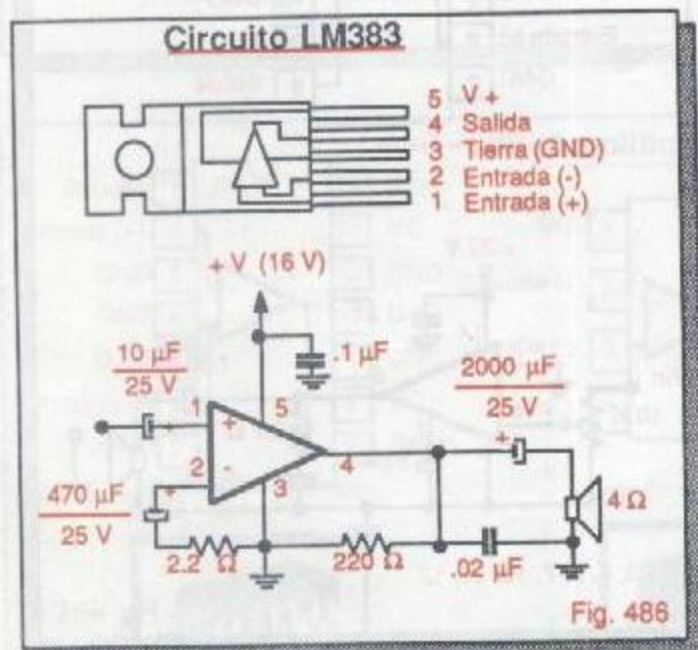
Fig. 485



## Circuito LM383

El LM383 es un circuito integrado que puede entregar una potencia hasta de 7 vatios. Por sus características de manejo de corrientes altas (hasta de 3.5 Amps) se puede utilizar para manejar parlantes con impedancia de  $4\Omega$  de los que se utilizan en los automóviles.

En la figura 486 tenemos su diagrama y un circuito de aplicación. Por su potencia, a este circuito se le debe instalar un disipador de calor fabricado con aluminio.



## Circuito LM377

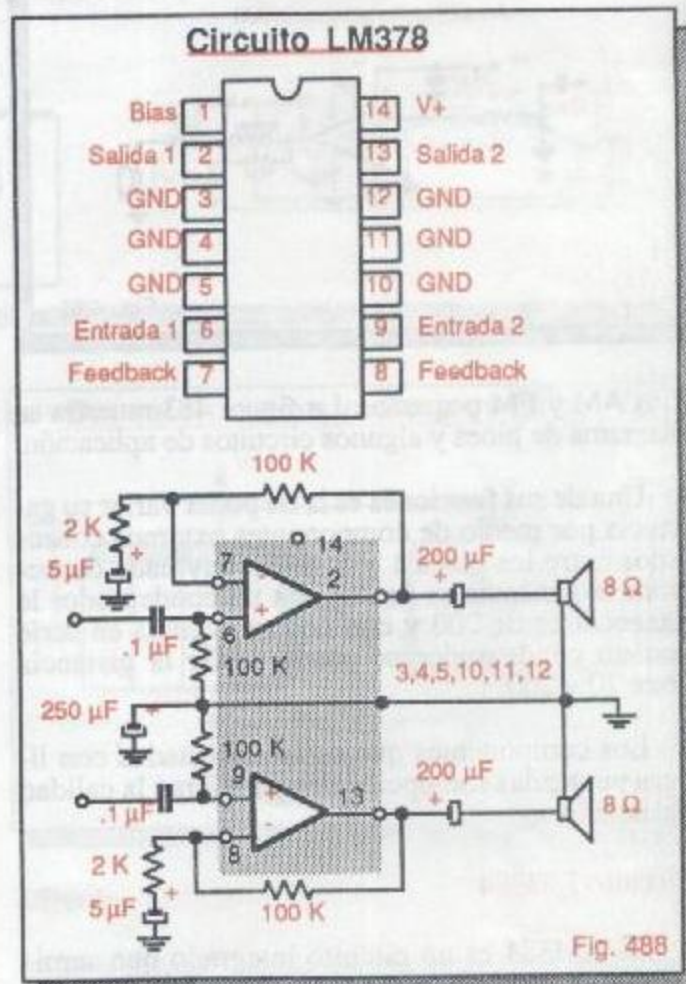
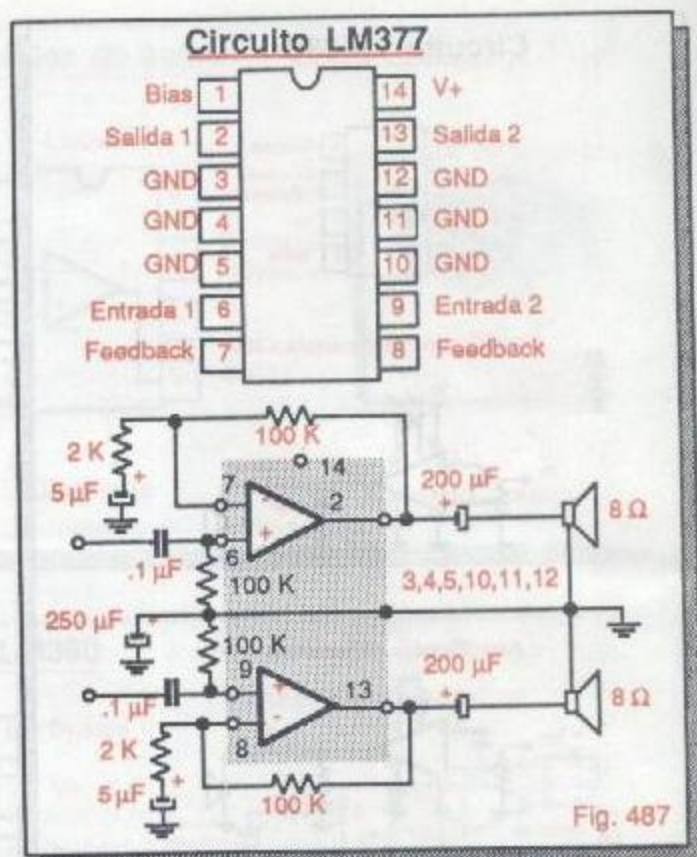
El LM377 es un amplificador integrado doble de potencia, de 2 vatios por canal, que se puede utilizar para tocadiscos, grabadoras, radios FM, etc.

Este circuito está diseñado para utilizar el mínimo de componentes externos y contiene un circuito regulador interno para cada etapa. Además, tiene protección térmica y de sobrecorriente internas. En la figura 487 se muestran su diagrama de pines y un circuito de aplicación.

## Circuito LM378

Este circuito, similar al anterior, puede entregar hasta 4 vatios de potencia por canal. En la figura 488 se muestran su diagrama de pines y un circuito de aplicación.

Los componentes externos son mínimos. En los dos circuitos anteriores se debe utilizar un disipador de calor similar al usado por el LM384.





# Otros circuitos integrados para AM y FM

## Introducción

En esta lección se estudia una serie de circuitos integrados especializados en el procesamiento de señales AM, FM y FM estéreo. Todos estos dispositivos requieren de muy pocos componentes externos para configurar receptores muy compactos y ofrecen unas características de calidad sorprendentes.

La mayoría trae incorporado un amplificador de audio. Otros necesitan un amplificador de audio externo, transistorizado o integrado. Además, son muy flexibles en cuanto al rango de voltajes de alimentación con que pueden operar.

En la primera parte se estudian los sistemas integrados de recepción de AM adecuados para la banda doméstica de 530 a 1600 KHz. Se analiza en detalle el CI ZN414Z de Ferranti y se describen otros, destacándose los chips LM1863 y LM3820 de National.

En la segunda parte se estudian los sistemas integrados de recepción de FM adecuados para la banda estándar de 88 a 108 MHz. Se analiza en detalle el CI TDA7000 de SGS-ATES y se describen brevemente otros como el LM1865 y el LM 3089.

En la tercera parte se estudian los sistemas integrados de recepción simultánea de AM y FM. Se analiza en detalle el CI LM1868 de National y se describen brevemente otros como los de la serie TDA1220 de SGS.

En la parte final se estudian los sistemas integrados de demodulación de FM estéreo. Se amplían los conceptos de FM estéreo introducidos en la Lección 29 y se analiza la operación del CI CA3089 de RCA. También se describen otros como el LM1800 y el LM1870.

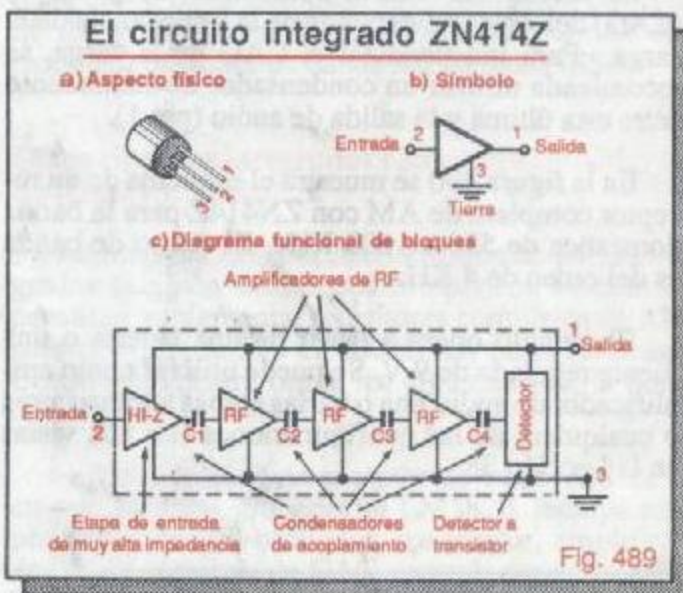
En todos los casos se suministra información práctica muy útil sobre la operación y utilización de los chips más representativos, y las funciones de cada pin. También se proporcionan circuitos de aplicación típicos, fáciles de implementar con componentes comunes y se explica su funcionamiento.

## Sistema de recepción de AM ZN414Z

El CI ZN414Z de Ferranti es un sistema completo de recepción de AM que contiene, en una mis-

ma cápsula T0-8 de 3 pines, un amplificador de RF de 4 etapas con CAG y un detector a transistor. El circuito consiste internamente de 10 transistores, 15 resistencias y 4 condensadores.

En la figura 489 se muestra el aspecto físico, el símbolo y el diagrama interno de bloques del CI ZN414Z. La entrada de RF (pin 2) es de muy alta impedancia (4 M $\Omega$ ). La salida de audio (pin 1) puede manejar directamente un audífono de 400 a 600  $\Omega$  sin necesidad de amplificador de audio.



El ZN414Z puede operar con tensiones de alimentación desde 1.2 hasta 1.6 V. El fabricante recomienda utilizar una fuente de 1.3 V. Bajo estas condiciones, el consumo de corriente es típicamente de 0.3 a 0.5 mA.

El ZN414Z se especifica para trabajar en el rango de frecuencias comprendido entre 150 KHz a 3 MHz. Su detector ha sido diseñado para responder a señales de AM dentro de esta gama. Sin embargo, ha sido utilizado con éxito a frecuencias superiores a 7 MHz.

Esta característica lo hace apropiado para ser utilizado como receptor de AM en las bandas de onda larga (150 a 300 KHz), onda media o AM estándar (530 a 1600 KHz) y de señalización de tiempo o WWV (2.5, 5, 10 y 15 MHz) de la NBS (Buro Nacional de Estándares) de los Estados Unidos.



Las emisiones de WWV las origina la NBS desde Boulder (Colorado, EE-UU). Consisten en tonos alternados de 440 y 680 Hz que modulan en amplitud la portadora principal y se utilizan para calibrar la frecuencia de equipos de comunicaciones tanto profesionales como de radioafición.

La ganancia de potencia típica del ZN414Z es de 72 dB pero se han reportado ganancias de potencia hasta de ¡110 dB! La salida de audio es del orden de 30 mV (valor rms). Con una fuente de 1.3 V, el umbral de sensibilidad (mínima señal de entrada discernible sin ruido) es de 50  $\mu$ V.

El ZN414Z puede manejar directamente un audífono de 400 a 600  $\Omega$ . Para impulsar un parlante de baja impedancia, la salida de audio (pin 1) debe acoplarse capacitivamente a la entrada de un amplificador de audio apropiado.

La acción del control automático de ganancia (CAG) del ZN414Z depende de la impedancia de la carga. Para independizar el CAG de la carga, se recomienda utilizar un condensador de aislamiento entre esta última y la salida de audio (pin 1).

En la figura 490 se muestra el esquema de un receptor completo de AM con ZN414Z para la banda doméstica de 530 a 1600 KHz. El ancho de banda es del orden de 4 KHz.

El circuito opera a partir de una batería o una fuente regulada de 9 V. Se puede utilizar como amplificador de audio una o varias etapas a transistores o cualquiera de las configuraciones con CIs vistas en la Lección 38.

El regulador de voltaje constituido por el transistor Q1, las resistencias R2, R3 y R4, el potenciómetro R5 y el condensador C2 permite que el receptor opere confiablemente a partir de la fuente de 9V. El condensador C3 aísla el circuito de CAG del ZN414Z del amplificador de audio.

El potenciómetro R5 se utiliza para ajustar el voltaje entre los pines 1 y 3 (puntos A y B) del ZN414Z al nivel de 1.3 V recomendado por el fabricante. Una vez fijado este voltaje, R5 puede ser sustituido por una resistencia de valor apropiado.

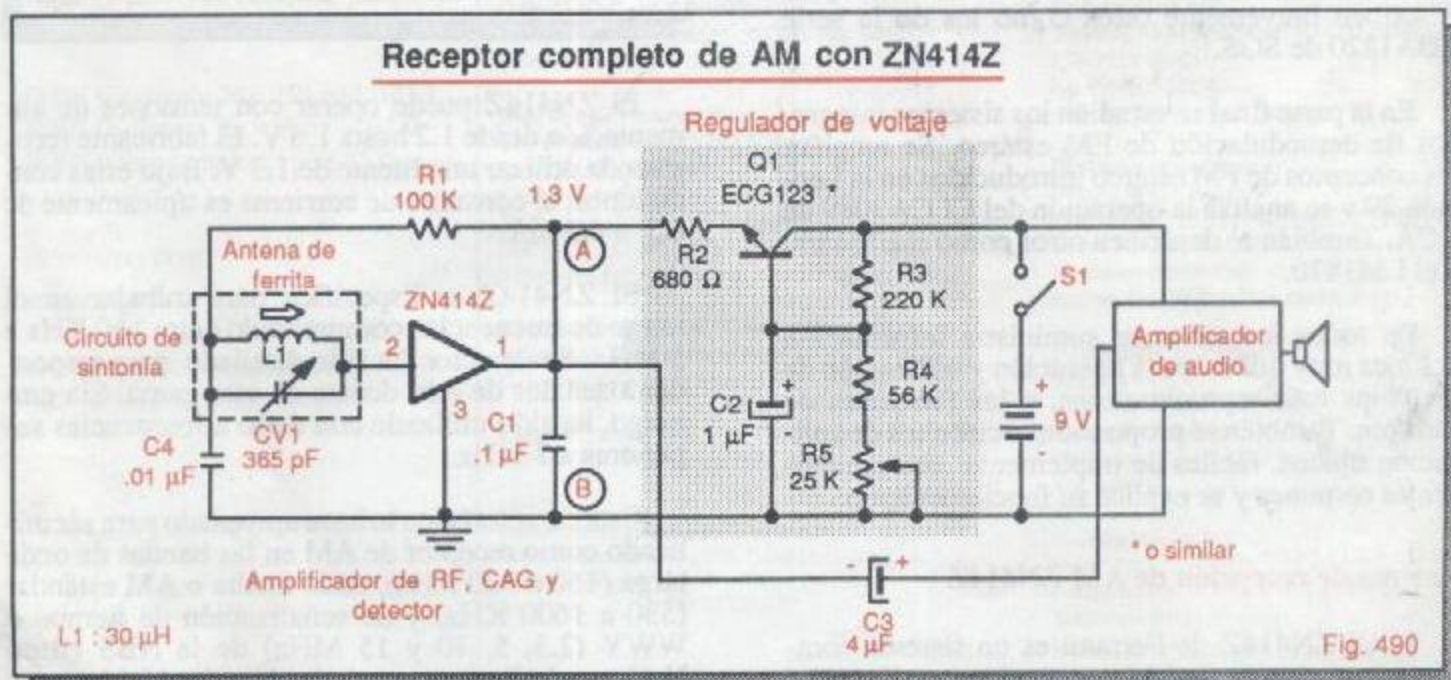
La bobina L1 y el condensador variable CV1 son unidades estándar de 30  $\mu$ H y 365 pF, respectivamente, del mismo tipo de las utilizadas en el receptor de AM CEKIT. Estos componentes deben mantenerse aislados del resto del circuito para minimizar efectos de realimentación no deseados.

En la figura 491 se muestra una versión simplificada del circuito de la figura 490 utilizando un audífono de 400 a 600  $\Omega$  y una pila de 1.5 V. Este receptor "mínimo" capta estaciones locales de AM con sorprendente claridad y a un buen volumen.

El circuito de la figura 491 puede convertirse fácilmente en un receptor de WWV de 2.5 MHz con unas pocas modificaciones. En la figura 492 se muestra el diagrama correspondiente. Para proveer una óptima recepción de la señal WWV, utilice como antena un alambre de 4 a 5 m de longitud.

Las bobinas L2 y L4 son unidades estándar de 30  $\mu$ H con núcleos ajustables de ferrita. La derivación de L2 debe realizarse a 10 espiras del extremo

### Receptor completo de AM con ZN414Z





## Receptor mínimo de AM con ZN414Z

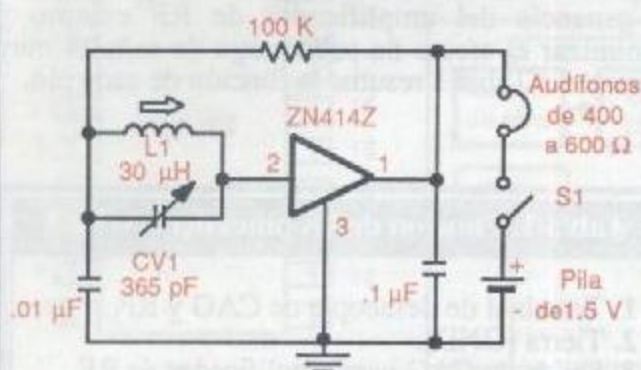


Fig. 491

inferior para proporcionar un buen punto de acoplamiento con L3.

## Receptor de WWV con ZN414

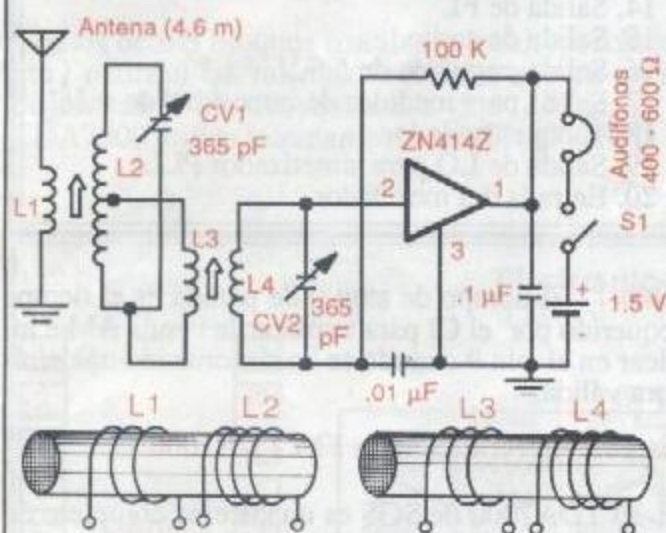


Fig. 492

Las bobinas L1 y L3 consisten de 10 espiras de alambre aislado o Litz y se acoplan magnéticamente a L2 y L4 respectivamente, como se indica. El acoplamiento magnético puede también efectuarse devanando L1 alrededor de L2 y L3 alrededor de L4.

Cuando sintonice el receptor de la figura 492, utilice los condensadores variables CV1 y CV2 para la sintonía propiamente dicha y desplace los núcleos de L2 y L4 para conseguir ajustes finos.

Manipule estos componentes hasta conseguir la recepción más fuerte y clara posible de la señal

WWV de 2.5 MHz. Una vez conseguido el punto óptimo de calibración, inmovilice las bobinas y condensadores con cemento plástico o similar.

Recuerde que la acción del CAG del ZN414Z depende fuertemente de la impedancia de los audífonos. Por esta razón, utilice preferiblemente audífonos de 400 a 600 Ω. Tenga también presente que la señal WWV sólo se emite a determinados momentos del día.

Además de receptores de AM y WWV, el ZN414Z puede también utilizarse en una gran variedad de aplicaciones. Es sin duda uno de los chips de experimentación con radio más versátiles y económicos de que se dispone actualmente.

Por ejemplo, si se sintoniza a una frecuencia fija de 1.75 MHz (FI) y se continúa con un convertidor de 2 a 54 MHz, pueden captarse transmisiones de onda corta. Si se introduce realimentación positiva de RF y se hace oscilar, el ZN414Z permite demodular emisiones de banda lateral única (SSB).

## Otros circuitos integrados receptores de AM. LM1863 y LM3820.

Además del ZN414Z, existen otros circuitos integrados que, con unos pocos componentes externos, permiten implementar receptores completos de AM para la banda de 530 a 1600 KHz y otros servicios. Destacamos, entre otros, los siguientes de la línea de National:

•**LM3820.** Sistema receptor de radio AM de 3 etapas. 14 pines. Superior al LM1820. Incluye amplificador de RF, oscilador, mezclador, amplificador de FI, detector de CAG y regulador de voltaje. Tensión de alimentación máxima: 16 V.

•**LM1863.** Sistema receptor de AM para radios de sintonía electrónica. 20 pines. Se utiliza en receptores de AM con búsqueda automática de emisoras. Puede manejar directamente un sintetizador PLL. Compatible con AM estéreo. Voltaje de alimentación máximo: 16 V.

En la figura 493 se muestra la configuración de pines y el diagrama funcional de bloques del CI LM3820. El sistema incorpora, en una cápsula DIP de 14 pines, un amplificador de RF, un oscilador local, un mezclador, un amplificador de FI, un circuito de CAG y un regulador Zener.

En la figura 494 se muestra un circuito típico de aplicación del LM3820. El tanque doblemente sintonizado T1-T2, que acopla la salida del mezclador (pin 14) con la entrada del amplificador de FI (pin 7), provee una alta selectividad.



## El circuito integrado LM3820



Fig. 493

Las bobinas de antena (L1) y osciladora (L2), así como los transformadores de FI (T1, T2, T3) y el condensador variable de dos secciones (CA, CB), son estándares, del mismo tipo de las utilizadas en el receptor de AM CEKIT.

## Receptor de AM con CI LM3820

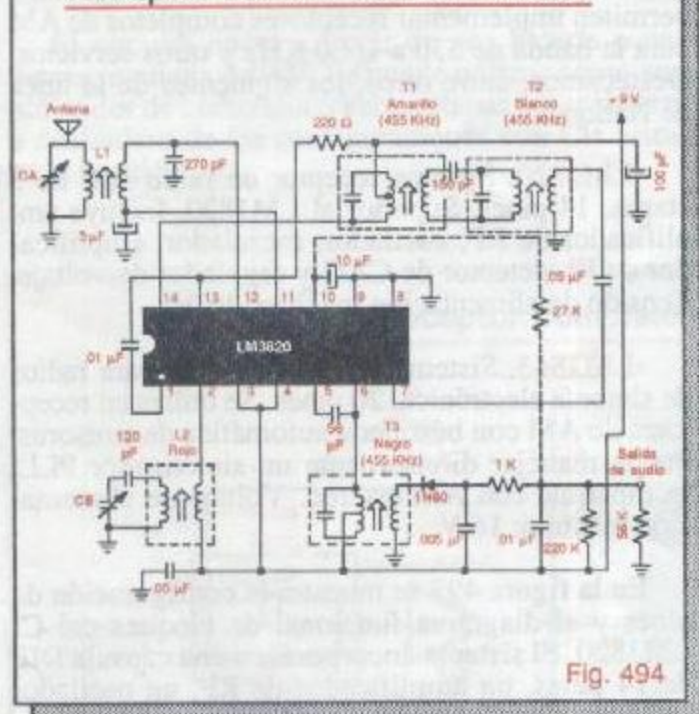


Fig. 494

En la figura 495 se muestra la configuración de pines y el diagrama interno de bloques del CI LM1863. El sistema incorpora, en una cápsula SO o de montaje superficial de 20 pines, un oscilador local, un mezclador, un amplificador de FI de dos etapas, un detector y un regulador de voltaje.

El oscilador local puede manejar directamente un sintetizador o rastreador de frecuencias externo. El chip utiliza un detector de CAG de RF para reducir la ganancia del amplificador de RF externo y minimizar el efecto de sobrecarga de señales muy fuertes. La Tabla 1 resume la función de cada pin.

## Tabla 1. Función de los pines del LM1863

1. Terminal de desacople de CAG y RF.
2. Tierra (GND).
3. Salida de CAG para amplificador de RF.
4. Entrada para el filtro de CAG.
5. Terminal de ajuste del tiempo de stop.\*
6. Entrada de la fuente de alimentación (Vcc).
7. Entrada a cristal del detector de emisoras.
8. No se utiliza.
9. Salida digital de control del sintetizador.
10. Salida del mezclador.
11. Entrada de FI.
12. Desacople de FI.
13. No se utiliza.
14. Salida de FI.
15. Salida de audio.
16. Salida regulada de 5.6 V.
17. Salida para medidor de intensidad de señal.
18. Tanque oscilador.
19. Salida de LO para sintetizador PLL.
20. Entrada del mezclador.

**Nota \*:** El tiempo de stop o de parada es el tiempo requerido por el CI para explorar la banda AM e indicar en el pin 9 cuando se ha sintonizado una emisora válida.

## Sistema de recepción de FM TDA7000

El TDA7000 de SGS es un sistema completo de recepción de FM que incluye, en una misma cápsula DIP de 18 pines, un oscilador local, un mezclador, un filtro de FI de dos etapas, un amplificador limitador de FI, un demodulador de FM y un circuito de *mute* o de silenciamiento de ruido.

El filtro de FI de dos etapas determina la selectividad del receptor. Se caracteriza por ser *activo*. La frecuencia central, así como las frecuencias inferior y superior de la banda de paso, se establecen mediante condensadores externos.

Los filtros activos realizan las mismas funciones de los filtros pasivos LC estudiados en la Lección 11 pero no utilizan bobinas. Operan a base de condensadores, resistencias y amplificadores operacionales. En el TDA7000, estos dos últimos tipos de componentes están incorporados en el chip.



### El circuito integrado LM1863

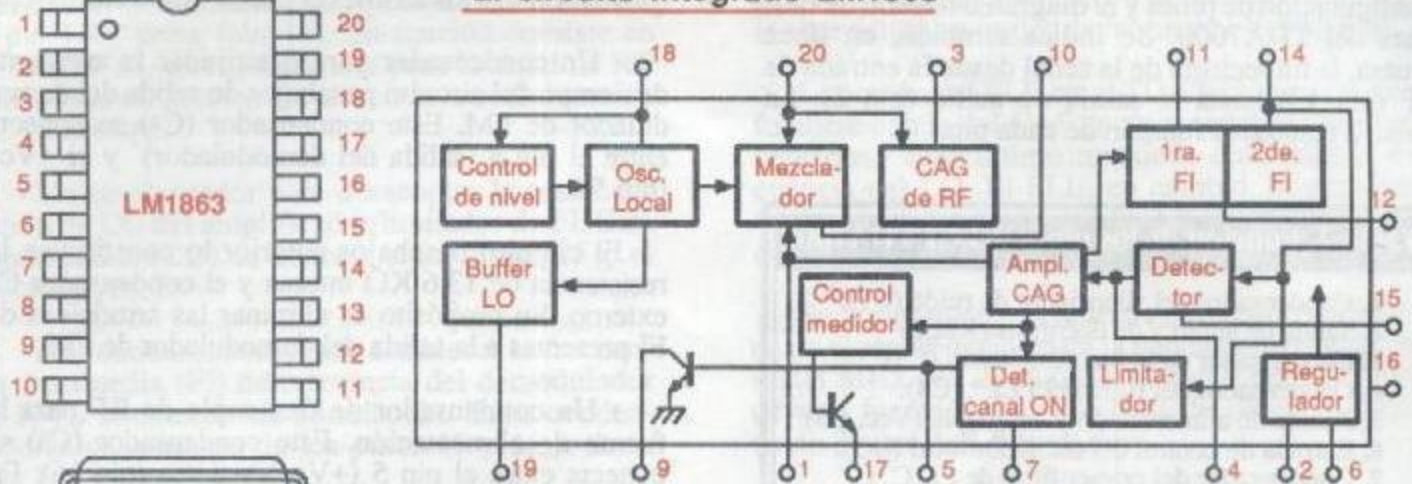


Fig. 495

El circuito silenciador de ruido impide la recepción de espúreas y elimina pulsos de ruido superpuestos a la señal de audio. Lo controla internamente un *detector de correlación* asociado al demodulador de FM.

Los demás bloques (oscilador local, mezclador, etc.) realizan las mismas funciones que en un receptor de FM convencional. Sin embargo, el TDA7000 utiliza internamente una FI de 70 KHz en

lugar de la FI estándar de 10.7 MHz. Las razones de esto último son puramente técnicas y se explican más adelante.

El TDA7000 resulta adecuado para radios de FM portátiles por la mínima cantidad de componentes externos o periféricos que requiere. También se puede utilizar como receptor en equipos de banda ciudadana, teléfonos inalámbricos, sección de sonido de televisores y otros sistemas FM.

### El circuito integrado 7DA7000

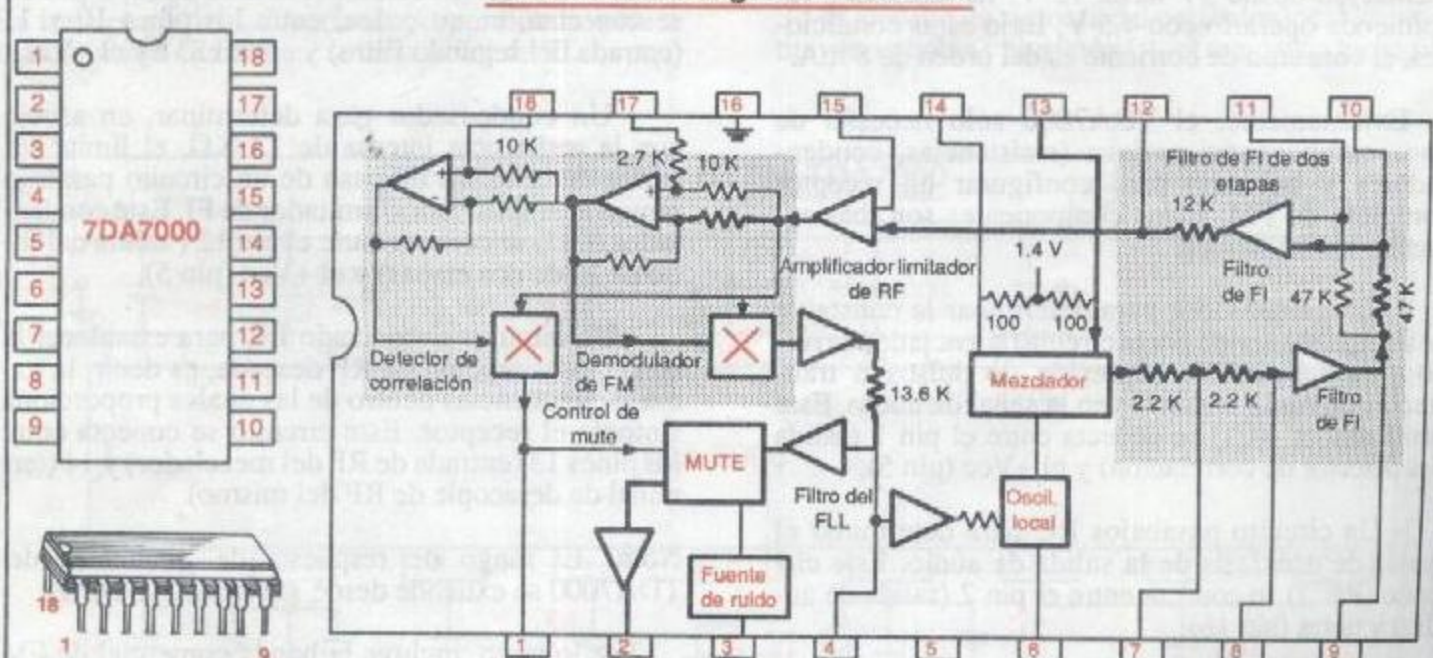


Fig. 496



En la figura 496 se muestra el aspecto físico, la configuración de pines y el diagrama interno de bloques del TDA7000. Se indica también, en línea gruesa, la trayectoria de la señal desde la entrada de RF (pin 13) hasta la salida de audio (pin 2). La Tabla 2 resume la función de cada pin.

**Tabla 2. Función de los pines del CI TDA7000**

1. Condensador del silenciador de ruido (C1).
2. Salida de audio y de deénfasis (R2C2).
3. Condensador de la fuente de ruido (C3).
4. Condensador del filtro del FLL\* (C4).
5. Fuente de alimentación y desacople (Vcc, C5).
6. Entrada de control del oscilador local (LO).
7. Condensador del primer filtro de FI (C7).
8. Condensador del primer filtro de FI (C8).
9. Condensador del primer filtro de FI (C7).
10. Condensador del segundo filtro de FI (C10).
11. Condensador del segundo filtro de FI (C11).
12. Condensador de salida del filtro de FI (C12).
13. Entrada de RF del mezclador (RF).
14. Desacople del mezclador (C14).
15. Desacople del amplificador de FI (C15).
16. Terminal de referencia (GND o tierra).
17. Condensador del demodulador (C17).
18. Condensador del detector de correlación (C18).

\* **Nota:** FLL es la abreviatura de frequency-locked loop (lazo de amarre de frecuencia). Se trata de un circuito interno de control del oscilador local. Su operación se explica más adelante.

El TDA7000 puede trabajar con tensiones de alimentación desde 3V hasta 12 V. El fabricante recomienda operarlo con 4.5 V. Bajo estas condiciones, el consumo de corriente es del orden de 8 mA.

Externamente, el TDA7000 sólo necesita de unos componentes pasivos (resistencias, condensadores y bobinas) para configurar un receptor completo de FM. Estos componentes son, básicamente, los siguientes:

- Un condensador para determinar la constante de tiempo requerida por el circuito silenciador de ruido para asegurar la supresión de pulsos o transientes de ruido presentes en la señal de audio. Este condensador (C1) se conecta entre el pin 1 (salida del detector de correlación) y el +Vcc (pin 5).

- Un circuito pasabajos RC para determinar el grado de deénfasis de la salida de audio. Este circuito (R2C2) se conecta entre el pin 2 (salida de audio) y tierra (pin 16).

- Un condensador para determinar el nivel de salida del generador de ruido asociado al circuito silenciador. Este condensador (C3) se conecta entre

el pin 3 (entrada del generador de ruido) y el +Vcc (pin 5). En ciertos casos, C3 puede omitirse.

- Un condensador para determinar la constante de tiempo del circuito pasabajos de salida del demodulador de FM. Este condensador (C4) se conecta entre el pin 4 (salida del demodulador) y el +Vcc (pin 5).

El circuito pasabajos anterior lo constituyen la resistencia de 13.6 K $\Omega$  interna y el condensador C4 externo. Su propósito es eliminar las armónicas de FI presentes a la salida del demodulador de FM.

- Un condensador de desacople de RF para la fuente de alimentación. Este condensador (C5) se conecta entre el pin 5 (+Vcc) y tierra (pin 16). Físicamente, debe estar lo más próximo al pin 5 del TDA7000 como sea posible.

- Un circuito sintonizado LC para establecer la banda de operación del oscilador local. Este circuito se conecta entre el pin 6 (entrada de control del LO) y el +Vcc (pin 5).

- Dos condensadores para establecer, en asocio con las resistencias internas de 2.2 K $\Omega$ , la frecuencia central o de corte del filtro de FI de dos etapas. Estos condensadores (C7 y C8) se conectan, en su orden, entre los pines 7 y 9 (salida del primer filtro de FI) y entre el 8 y el +Vcc (pin 5).

- Dos condensadores para establecer, en asocio con las resistencias internas de 4.7 K $\Omega$ , los límites inferior y superior de la banda de paso del filtro de FI de dos etapas. Estos condensadores (C10 y C11) se conectan, en su orden, entre los pines 10 y 11 (entrada del segundo filtro) y entre el 11 y el +Vcc.

- Un condensador para determinar, en asocio con la resistencia interna de 12 K $\Omega$ , el límite superior de la banda de paso de un circuito pasabajo previo al amplificador/limitador de FI. Este condensador (C12) se conecta entre el pin 12 (salida del filtro de FI de dos etapas) y el +Vcc (pin 5).

- Un circuito sintonizado LC para establecer la banda de recepción de RF deseada, es decir, la gama de frecuencias dentro de las cuales proporciona sintonía el receptor. Este circuito se conecta entre los pines 13 (entrada de RF del mezclador) y 14 (terminal de desacople de RF del mismo).

**Nota:** El rango de respuesta de frecuencia del TDA7000 se extiende desde 1.5 hasta 110 MHz.

Por lo tanto, incluye la banda comercial de FM estándar de América y Europa (88 a 108 MHz), la banda de FM estándar del Japón (76 a 91 MHz) y otras bandas populares de FM.



- Un condensador de desacople de RF para el mezclador. Este condensador (C14) se conecta entre el pin 14 y tierra (pin 16). Su función consiste en establecer una tierra dinámica para la señal de RF aplicada al mezclador sin afectar las condiciones de CC de la etapa.

- Un condensador para desacoplar la realimentación de CC del amplificador/limitador de FI. Este condensador (C15) se conecta entre el pin 15 y el +Vcc (pin 5).

- Dos condensadores para establecer la frecuencia intermedia (FI) de referencia del demodulador de FM y el detector de correlación. Estos condensadores se conectan de los pines 17 y 18 a tierra (pin 16), respectivamente.

Recuerde que el TDA7000 utiliza una FI interna de 70 KHz y no la estándar de 10.7 MHz.

El empleo de una FI tan baja permite lograr una integración total, proporciona un adecuado rechazo de frecuencias imagen y espúreas y garantiza una buena relación señal a ruido. Sin embargo, puede introducir distorsión.

La distorsión es particularmente crítica en el caso de señales de entrada fuertemente moduladas, es decir, con desviación máxima. Para obviar este inconveniente, el TDA7000 comprime la desviación pico de la señal de FI ( $\pm 75$  KHz) a  $\pm 15$  KHz.

Esta compresión del margen de desviación se logra desplazando la frecuencia del oscilador local mediante la señal de salida del demodulador de FM. La frecuencia del LO varía en proporción inversa a la desviación de frecuencia de la señal de FI.

El circuito de control así constituido se denomina FLL o bucle de enganche de frecuencia. FLL es la abreviatura en inglés de frequency-locked loop.

La acción del FLL en el TDA7000 no debe confundirse con la del CAF en un receptor de FM convencional. Este último mantiene constante la frecuencia del LO. El FLL, en cambio, la varía permanentemente, dependiendo del valor instantáneo de desviación de la señal de FI.

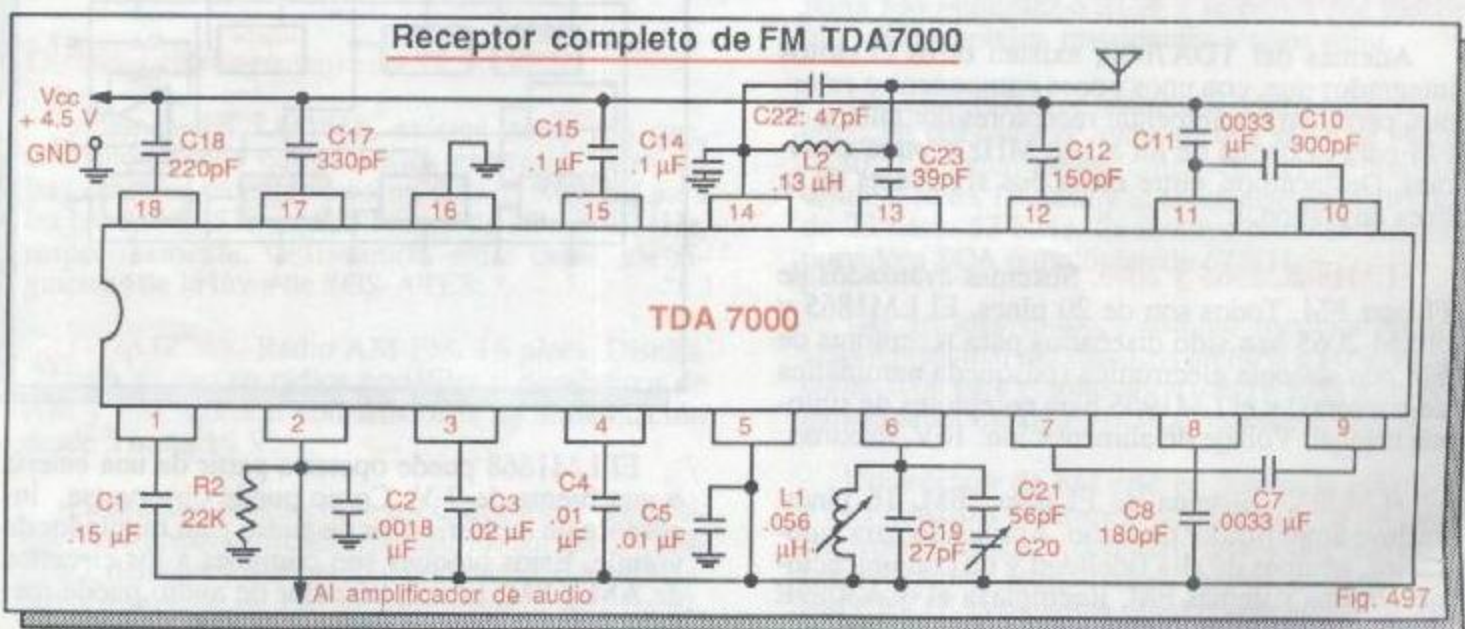
En la figura 497 se muestra el circuito completo de un receptor de FM para la banda doméstica de 88 a 108 MHz con TDA7000. El radio opera a partir de una fuente de 4.5 V, fácil de obtener conectando 3 pilas de 1.5 V en serie.

El receptor responde a niveles señales de entrada desde  $1.5 \mu\text{V}$  hasta 200 mV, sin introducir distorsión ni ruido. El primer valor ( $1.5 \mu\text{V}$ ) es su *umbral de sensibilidad*, es decir, la señal más débil que puede discernir sin ruido. La salida de audio es del orden de 70 mV (valor rms).

Se puede utilizar como amplificador de audio una o varias etapas a transistores o cualquiera de las configuraciones con circuitos integrados vistas en la Lección 38.

Las funciones de los condensadores C1 hasta C18 y del filtro pasabajos R2C2 son las mismas explicadas anteriormente. Con los valores de componentes suministrados, la FI es de 70 KHz y el ancho de banda es del orden de 92 KHz. La constante de tiempo R2C2 es de  $\approx 40 \mu\text{s}$ .

El circuito de sintonía del oscilador local lo constituyen la bobina ajustable L1, el condensador varia-

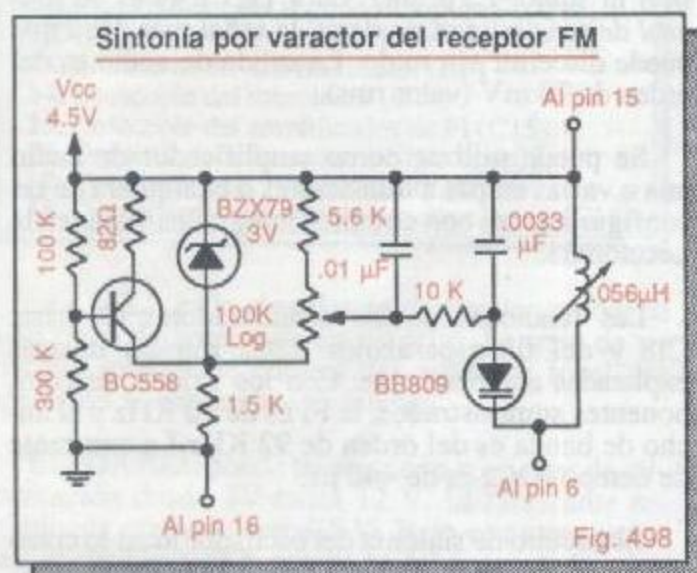




ble C20 y los condensadores fijos C19 y C21. El circuito de sintonía de RF lo forman la bobina L2 y los condensadores C22 y C23. El único componente que requiere ajuste es la bobina L1.

Para la recepción de otras bandas de FM distintas a la estándar (88 a 108 MHz), deben modificarse los valores de L1 y L2. Por ejemplo, para la banda japonesa de 76 a 91 MHz, L1 debe ser de 0.078  $\mu$ H y L2 de 0.15  $\mu$ H.

En la figura 498 se muestra la forma de modificar el receptor de la figura 497 utilizando un diodo varactor como sintonizador. El varactor actúa como un condensador en paralelo con la bobina L1. Su capacitancia se controla mediante el voltaje inverso suministrado por el potenciómetro de 100 K $\Omega$ .



### Otros receptores integrados de FM

Además del TDA7000, existen otros circuitos integrados que, con unos pocos componentes externos, permiten implementar receptores completos de FM para la banda de 88 a 108 MHz y otros servicios. Destacamos, entre otros, los siguientes de la línea de National:

•**LM1865, 1965 y 2065.** Sistemas avanzados de FI para FM. Todos son de 20 pines. El LM1865 y el LM 2065 han sido diseñados para receptores de FM con sintonía electrónica (búsqueda automática de emisoras) y el LM1965 para receptores de sintonía manual. Voltaje de alimentación: 16V, máximo.

•**LM3089.** Sistema de FI para FM. 16 pines. Incluye amplificador de audio. Apropiado para autoradios, equipos de alta fidelidad y de comunicaciones y otros sistemas FM. Reemplaza el CA3089E de RCA. Voltaje de alimentación máximo: 16V.

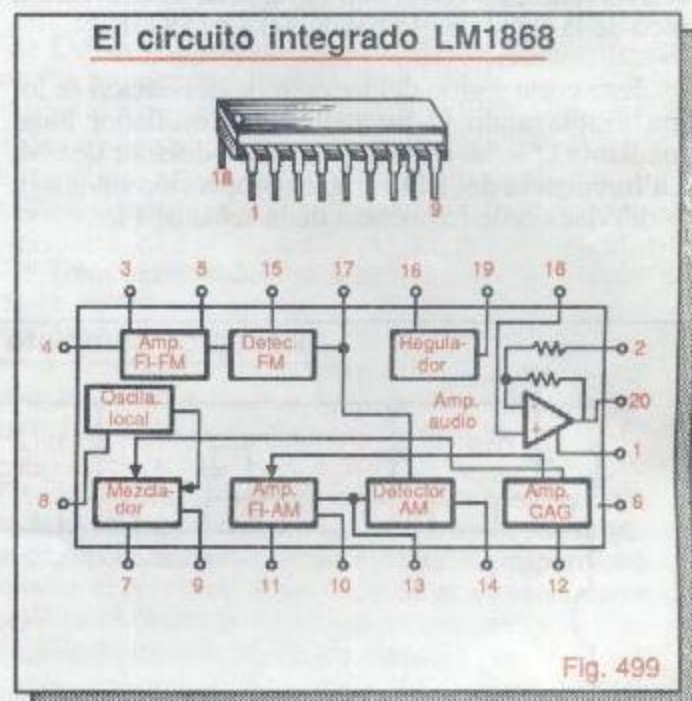
•**LM3189:** Sistema de FI para FM superior al LM3089. 16 pines. Incluye amplificador de audio, amplificador/limitador de FI de 3 etapas, detector de FM doblemente balanceado, regulador de voltaje y otras funciones. Opera con voltajes entre 8.5 y 16 V. Apropiado para equipos de alta fidelidad.

•**LM3361A.** Sistema de FI para FM de banda estrecha. Incluye oscilador, mezclador, amplificador limitador de FI, demodulador y otras funciones. Similar al MC3361 de Motorola. Trabaja con menos de 2V. Voltaje de alimentación máximo: 12V.

•**TBA 120S.** Amplificador de FI y detector de FM. 14 pines. Adecuado para la detección de audio en receptores de TV y FM. Incluye amplificador de FI de 8 etapas con limitador, detector balanceado, preamplificador de audio y regulador de voltaje. Opera con voltajes entre 6 y 18 V.

### Sistema receptor de AM y FM LM1868

El LM1868 es un sistema integrado de recepción de AM y FM que proporciona toda la circuitería necesaria para implementar un radio de dos bandas AM/FM de 0.5 W. En la figura 499 se muestra su distribución de pines y el diagrama interno de bloques.



El LM1868 puede operar a partir de una batería o una fuente de 9 V. Como puede observarse, incorpora un amplificador de audio y un regulador de voltaje. Estos bloques son comunes a los circuitos de AM y FM. El amplificador de audio puede manejar directamente un parlante de 8 $\Omega$ .



La sección de FM consta de un amplificador de FI y un detector. La sección de AM consta de un oscilador local, un mezclador, un amplificador de FI y un amplificador de CAG. El oscilador y el mezclador configuran un conversor de AM.

El amplificador de CAG interno de AM gobierna la operación tanto del mezclador como del amplificador de FI. Las salidas de los detectores de AM y FM se superponen en el pin 17, que es la salida común de audio. La entrada del amplificador de audio es el pin 18.

En el modo AM, la señal de antena se acopla capacitivamente al pin 7 (entrada del mezclador). La frecuencia del oscilador local se programa mediante un circuito sintonizado LC conectado al pin 8 (entrada del LO).

La FI se selecciona mediante un circuito sintonizado conectado al pin 9 y se acopla inductivamente al pin 11 (entrada del amplificador de FI). Después de amplificada, la señal de FI se aplica al detector y se controla mediante una trampa LC conectada al pin 13 (entrada del detector).

Una vez detectada, la señal de audio se obtiene en el pin 17. Esta señal se puede acoplar a un amplificador de audio externo o a la entrada del amplificador interno (pin 18). Una vez amplificada, la señal de audio impulsa, desde el pin 20, el parlante. Los demás pines AM (10, 12 y 14) son de control.

En el modo FM, la señal de FI proveniente de un mezclador o conversor de FM externo se aplica a la entrada del amplificador de FI y se detecta. La FI de referencia del detector de FM se establece mediante un circuito LC conectado al pin 15. Una vez detectada, la señal de audio se suministra al pin 17.

### Otros receptores integrados de AM/FM.

Además del LM1868, existen otros CIs que, con unos pocos componentes externos, permiten implementar receptores completos de AM/FM para las bandas de 530 a 1600 KHz y de 88 a 108 MHz, respectivamente. Destacamos, entre otros, los siguientes de la línea de SGS-ATES:

•**TDA1220A.** Radio AM-FM. 16 pines. Diseñado para su uso en radios portátiles y domésticos de AM y FM. Trabaja con tensiones de alimentación desde 3 hasta 16 V.

La sección AM incluye oscilador local, mezclador con preamplificador, amplificador de FI con CAG, detector balanceado y preamplificador de audio. La sección de FM incluye amplificador de FI, detector de cuadratura y preamplificador de audio.

•**TDA 1220B.** Radio AM-FM de alta calidad. 16 pines. Versión mejorada del TDA1220A. Adecuado para producción en serie. Utiliza un mezclador doblemente balanceado en la sección AM. Cubre bandas de AM hasta 30 MHz. Compatible con FM estéreo. Opera con 3 a 12 V.

•**TDA1220L.** Radio AM-FM de bajo voltaje. 16 pines. Diseñado para su uso en radios portátiles que operan con baterías de 4.5 o 6V. El máximo voltaje de alimentación admisible es 12 V. La misma configuración interna del TDA1220B.

### Fundamentos de la recepción de FM estéreo

Como vimos al final de la Lección 29 (página 232), en una emisora de FM estéreo la información de audio proveniente de los micrófonos izquierdo (L) y derecho (R) se procesa en un mezclador de audio. Este entrega una señal de audio suma (L+R) o monofónica y una señal diferencia (L-R) o estéreo.

La señal L+R modula directamente la portadora de 88 a 108 MHz como en el sistema FM convencional o monofónico. La señal L-R modula previamente en amplitud una subportadora de 38 KHz que se suprime durante el proceso de transmisión.

Las dos señales modulan la portadora principal de FM conjuntamente con un tono piloto de 19 KHz que facilita, en el receptor, la regeneración de la subportadora suprimida de 38 KHz. Esto permite demodular la señal estéreo L-R y recuperar las señales L y R originales.

Además de señales estéreo, las emisoras de FM pueden también transmitir sobre subportadoras de 53 a 75 KHz música de fondo, reportes de tiempo y otros programas privados. Este servicio se denomina FM *multiplex* o SCA y se presta por suscripción (\$\$) a hoteles, restaurantes y otros sitios.

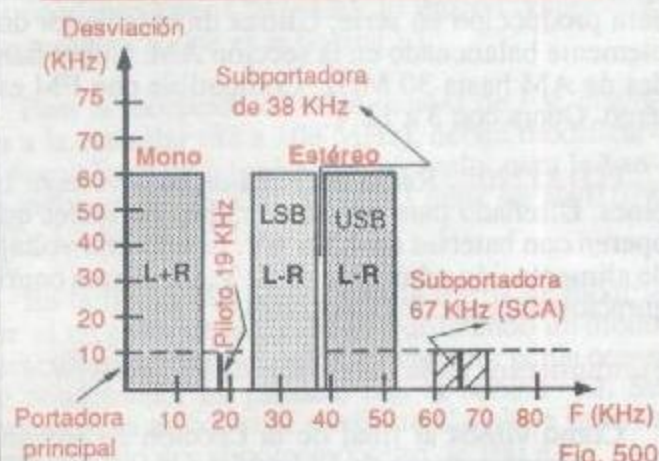
En la figura 500 se muestra la distribución de frecuencias del canal de audio de una señal de FM estéreo. La señal monofónica (L+R) se extiende desde 0 hasta 15 KHz y la señal estéreo (L-R) desde 23 hasta 53 KHz. Se incluye también una subportadora SCA o multiplex de 67 KHz.

Las señales mono y estéreo modulan la portadora principal del canal en un 80% o 90%, dejando un 10% para el tono piloto de 19 KHz y un 10% para la señal multiplex o SCA, cuando se utiliza.

Un receptor de FM estéreo detecta la señal L-R e individualiza la información original de los canales izquierdo (L) y derecho (R) en dos parlantes. Los receptores monofónicos de FM, como el radio FM CEKIT, detectan la señal compuesta L+R pero no separan sus componentes L y R individuales.



Espectro de audio de la Señal FM estéreo



Existen varias maneras de recuperar, en forma independiente, la información de los canales L y R de una señal de FM estéreo. Uno de los métodos más eficientes es utilizar un lazo de amarre de fase o PLL. Además, el PLL se presta a la integración.

### Demodulador integrado de FM estéreo CA3090

La primera compañía en incorporar el principio PLL en un decodificador integrado de FM estéreo fue la RCA. En la figura 501 se muestra el diagrama interno de bloques del decodificador PLL de FM estéreo CA3090, precursor de toda una generación de dispositivos como el popular LM1800.

La regeneración de la subportadora de 38 KHz la realiza un circuito PLL constituido por un VCO

(oscilador controlado por voltaje) de 76 KHz, una cadena de divisores de frecuencia que genera las señales requeridas por el proceso y un detector de fase de 19 KHz.

El voltaje de CC de salida de este último es proporcional a la diferencia de fase entre la salida del divisor de frecuencia de 19 KHz y la señal piloto incidente de 19 KHz. Para operar, el VCO requiere de una bobina externa entre los pines 15 y 16.

Se utiliza una frecuencia de VCO de 76 KHz para asegurar que la portadora reinsertada de 38 KHz sea perfectamente simétrica y la separación entre los canales de audio (L y R) sea nítida.

La salida del detector de fase de 19 KHz es cero cuando la frecuencia del VCO es correcta (76 KHz) o cuando no hay señal piloto de 19 KHz. Este último es el caso de emisiones de FM monofónicas. Para señalar la presencia de una emisión de FM estéreo se utiliza un detector de 19 KHz adicional.

Los componentes externos conectados a los pines 6, 7 y 8 establecen el umbral de sensibilidad y la constante de tiempo de este detector de presencia de la señal piloto de 19 KHz.

La salida del divisor de frecuencia está en fase con la señal piloto y proporciona la señal de control de un conmutador electrónico de mono a estéreo del tipo *Schmitt trigger*.

Este interruptor Schmitt-trigger dispara el detector de la señal L-R, habilitando la recepción de programas estereofónicos, y excita la lámpara indicadora de estéreo.

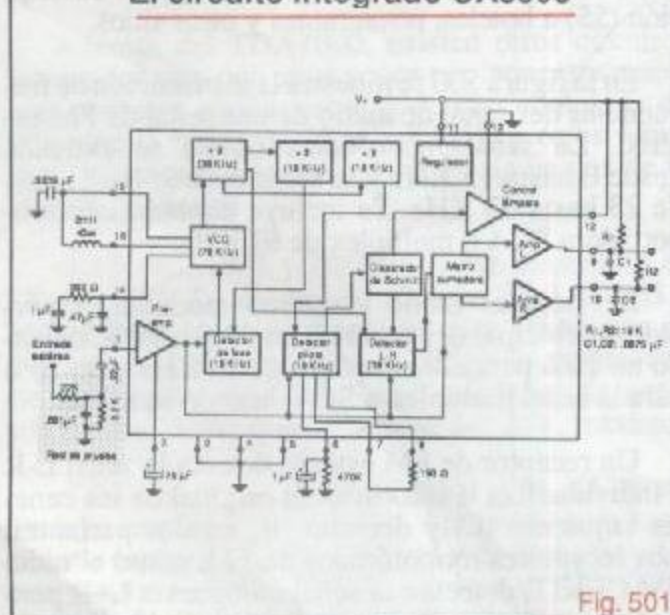
La señal de salida del detector L-R se procesa en un circuito sumador o matriz con la señal estéreo de FM recibida y aplicada al pin 1. A la salida de la matriz se obtienen individualmente las señales de los canales izquierdo (L) y derecho (R). La señal estéreo de entrada es previamente amplificada.

Las señales L y R se amplifican por separado y se suministran a los pines 9 y 10 respectivamente. De estos puntos se envían a los amplificadores de potencia externos de cada canal. La separación entre canales es del orden de 40 dB y el rechazo a las señales SCA de 55 dB.

### Otros demoduladores de FM estéreo integrados

Además del CA3090, existen otros circuitos integrados que, con unos pocos componentes externos, permiten implementar receptores completos de FM estéreo para la banda de 88 a 108 MHz y otros servicios. Destacamos, entre ellos, los siguientes:

## El circuito Integrado CA3090





•**LM1800.** Demodulador de FM estéreo con PLL. Utiliza técnicas de PLL (lazo de amarre de fase) para regenerar la subportadora de 38 KHz. 16 pines. Voltaje de alimentación máximo: 18 V.

•**LM1870.** Demodulador de FM estéreo con reducción de ruido. Utiliza técnicas de PLL para regenerar la subportadora de 38 KHz y control por CC para reducir el ruido durante la recepción de señales débiles. Opera con voltajes de alimentación entre 7 y 15 V.

•**LM4500A.** Demodulador de FM estéreo de alta fidelidad con reducción de ruido. 16 pines. Utiliza una novedosa técnica de demodulación de FM que minimiza la interferencia entre emisoras adyacentes debida a los armónicos de la subportadora de 38 KHz. Máximo voltaje de alimentación: 16 V.

•**TEA1330.** Decodificador de FM estéreo, 16 pines. Utiliza técnicas de PLL. No requiere bobinas externas. Sólo necesita ajuste del VCO. Puede trabajar con voltajes entre 3 y 14 V.

•**MC1310P.** Decodificador de FM estéreo. 14 pines. No requiere bobinas. Utiliza técnicas de PLL. Sólo necesita ajuste del VCO. Separación entre canales de 40 dB. Rechazo de SCA de 80 dB. Trabaja con voltajes entre 8 y 16 V.

En la figura 502 se muestra el diagrama de bloques y un circuito típico de aplicación del CI LM 1800. El chip trabaja con tensiones hasta de 18 V y puede manejar directamente una lámpara indicadora de estereo de 100 mA conectada al pin 7.

El LM18000 incorpora, en una cápsula de 16 pines, un regulador de voltaje, un preamplificador de audio, dos detectores de fase, un amplificador de baja frecuencia, un VCO de 76 KHz, una cadena de divisores de frecuencia, un conmutador electrónico de mono a estéreo y un decodificador de estéreo.

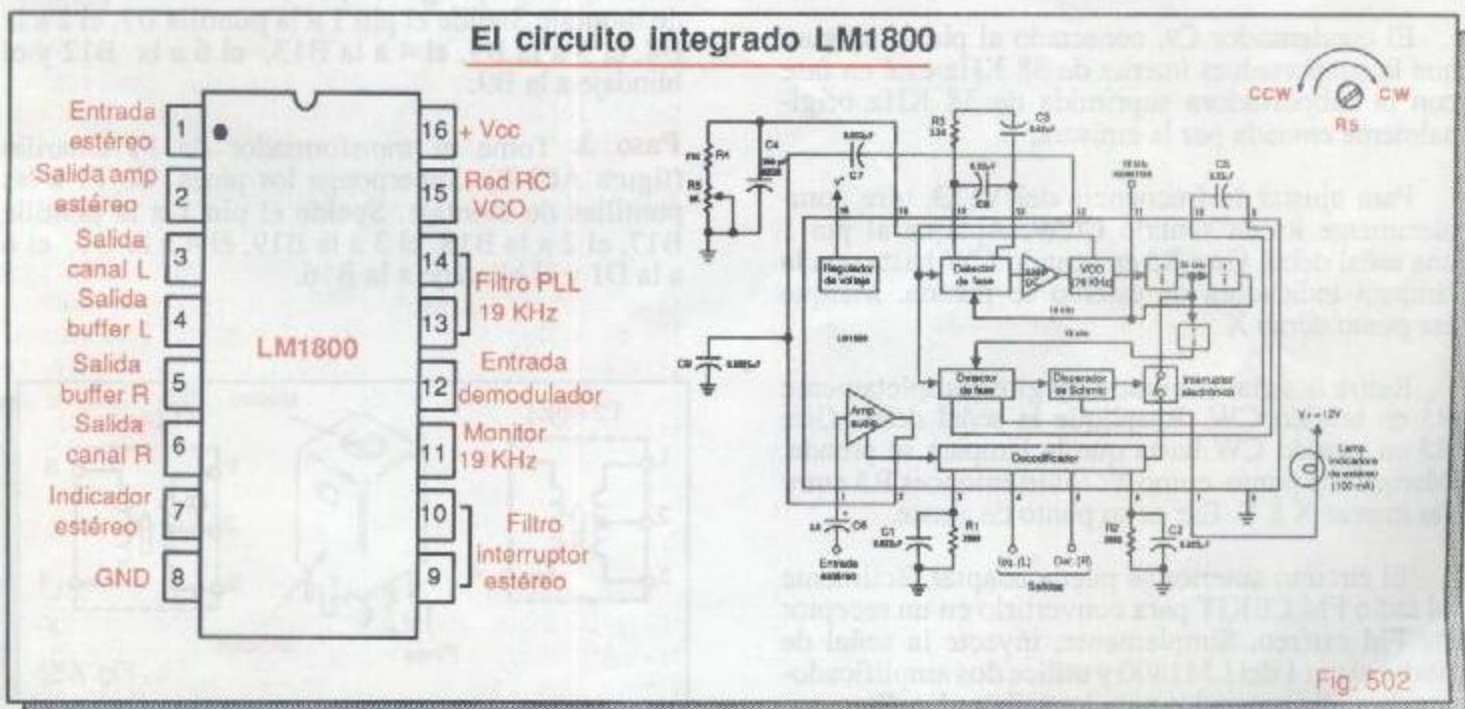
El amplificador de baja frecuencia, el VCO, el divisor de frecuencia y uno de los detectores de fase configuran un circuito PLL que produce la subportadora de 78 KHz. El otro detector de fase detecta la presencia del tono piloto de 19 KHz y controla la operación del conmutador electrónico.

La señal compuesta de audio, proveniente del detector de FM del receptor, se acopla mediante C6 a la entrada del preamplificador de audio (pin 1). Este último proporciona una señal de salida (V) para el decodificador y otra (W) para los detectores de fase del PLL y el detector de piloto.

La señal de audio V es accesible externamente desde el pin 2. La entrada de audio de los detectores de fase es el pin 12. El acople entre ambos puntos se realiza a través del condensador C7.

En el circuito PLL, la frecuencia de salida de 76 KHz del VCO se divide sucesivamente por 2 para obtener una señal de 38 y dos de 19 KHz. Una de las señales de 19 KHz se aplica a la otra entrada del detector de fase.

Esta señal de 19 KHz se puede monitorear en el pin 11 mediante un frecuencímetro (medidor de frecuencia) para ajustar exactamente a 76 KHz la fre-





cuencia del VCO mediante R5. La frecuencia del VCO se puede también calibrar manualmente utilizando R5 y la lámpara indicadora de estéreo.

La salida del detector de fase del PLL mantiene la frecuencia del VCO constante en 76 KHz. La salida de 38 KHz del primer divisor de frecuencia se toma como subportadora regenerada para demodular la información L-R en el decodificador.

La señal amplificada de audio W y la otra señal de 19 KHz generada en el PLL manejan el detector de piloto. La salida de voltaje de este detector es proporcional a la amplitud del tono piloto de 19 KHz. Cuando este tono es suficientemente fuerte, el conmutador electrónico S se dispara.

Al dispararse, el conmutador prende la lámpara indicadora de estéreo y conecta la subportadora de 38 KHz al decodificador para permitir la demodulación de la señal L-R.

En el modo monofónico (S abierto) la salida del decodificador es la misma señal de audio de entrada aplicada al pin 1 y amplificada internamente. Los circuitos R1C1 y R2C2 son redes de deénfasis.

En el modo estéreo (S cerrado), el decodificador demodula la información L-R, la suma o *matriza* con la información L+R y produce como resultado dos señales separadas L y R que se suministran a los pines de salida 4 y 5.

El circuito R3-C3-C8 establece el rango de captura del PLL. C8 contribuye también a mantener la separación adecuada entre canales, garantizando que la información del uno no se mezcle con la del otro.

El condensador C9, conectado al pin 2, asegura que la subportadora interna de 38 KHz esté en fase con la subportadora suprimida de 38 KHz originalmente enviada por la emisora.

Para ajustar la frecuencia del VCO, gire completamente R5 en sentido CCW. Aplique al pin 1 una señal débil. Gire R5 en sentido CW hasta que la lámpara indicadora de estéreo se prenda. Marque ese punto como X.

Retire la señal compuesta y gire completamente R5 en sentido CW. Reaplique la señal débil. Gire R5 en sentido CW hasta que la lámpara se prenda. Marque ese punto como Y. Sitúe entonces R5 entre las marcas X e Y. Ese es su punto de ajuste.

El circuito anterior se puede adaptar fácilmente al radio FM CEKIT para convertirlo en un receptor de FM estéreo. Simplemente, inyecte la señal de audio al pin 1 del LM1800 y utilice dos amplificadores de audio separados para las señales L y R.

## Actividad práctica Nº 22

### Ensamble de la etapa osciladora

En esta actividad instalaremos en el tablero del radio AM CEKIT los transformadores L2 y T1 del amplificador/conversor de RF, la etapa marcada con color amarillo en la lámina correspondiente al diagrama esquemático del receptor.

### Componentes necesarios

- 1 Bobina osciladora de núcleo rojo. L2
- 1 Transformador de FI de núcleo amarillo. T1.

### Procedimiento

**Paso 1.** Con alambre realice las siguientes conexiones punto a punto y corte el excedente:

- Una las puntillas B11 y B13. Asegúrese de que este alambre no haga contacto la puntilla B12.

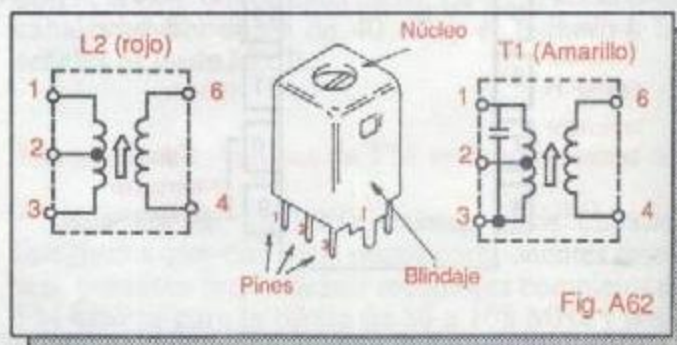
- Una las puntillas B12 y B14 y el extremo superior de R5. Asegúrese de que no haga contacto con el alambre que conecta las puntillas B13 y B11.

- Una las puntillas B18 y 44. Cerciórese de que este alambre no haga contacto con el alambre que conecta las puntillas B14 y B17. Realice una elevación en el punto de cruce para mayor seguridad.

-Una la puntilla B9 a la 5 y la B16 a la 6

**Paso 2.** Tome la bobina osciladora roja L2 (figura A62-A). Superponga los pines de L2 a las puntillas de montaje. Suelde el pin 1 a la puntilla B7, el 2 a la B8, el 3 a la B9, el 4 a la B13, el 6 a la B12 y el blindaje a la B9.

**Paso 3.** Tome el transformador de FI amarillo (figura A62-B). Superponga los pines de T1 a las puntillas de montaje. Suelde el pin 1 a la puntilla B17, el 2 a la B18, el 3 a la B19, el 4 a la D2, el 6 a la D1 y el blindaje a la B16.





## Actividad práctica N° 23

### Ensamble de la etapa de antena

En esta actividad instalaremos en el tablero del receptor AM CEKIT la bobina de antena y el condensador de sintonía. Estos componentes completan el amplificador/convertor de RF, la etapa marcada con color amarillo en el esquema del radio.

### Componentes y materiales necesarios

- 1 Bobina de antena de núcleo de ferrita con soportes plásticos. L1.
- 1 Condensador variable con perilla (dial), tornillo y cinta de montaje. CV1/CV2.

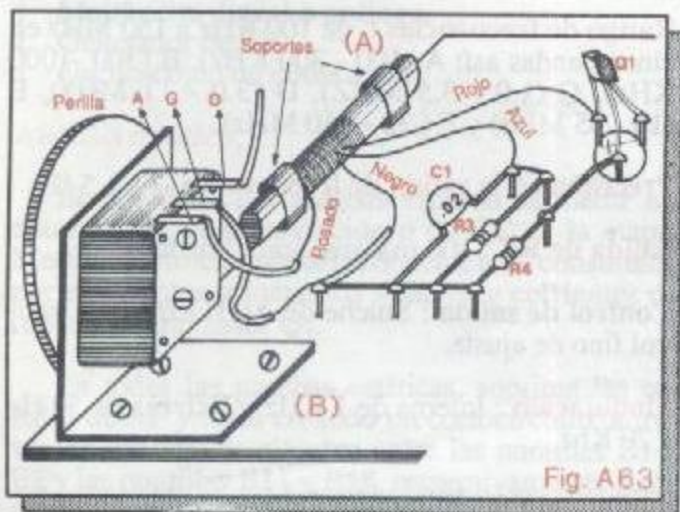
### Procedimiento

**Paso 1.** Introduzca la bobina de antena en sus soportes y asegure el conjunto a la tabla con pegante sintético, como se indica (figura A63A). Recorte las prolongaciones de los soportes si no dispone de taladro o herramienta de perforación.

**Paso 2.** Tome el condensador variable y adhiéralo a la tabla con cinta de montaje, pegante sintético o lámina de aluminio como se indica (figura A63B). Instale la perilla y asegúrela mediante el tornillo. La perilla debe girar libremente, sin rozar la tabla.

**Paso 3.** Identifique los terminales de la bobina L1 y conéctelos así: el negro a la puntilla 1, el rojo a la B2, el azul a la B1 y el rosado al terminal "A" del condensador variable. Prolongue con cable aislado.

**Paso 4.** Identifique los terminales del condensador variable y conéctelos así: el oscilador ("O") a la puntilla B7, el común ("G") a la puntilla 1 y el de antena ("A") al rosado de L1. Utilice cable aislado.



## Actividad práctica N° 24

### Funcionamiento y manejo de un Generador de RF

En la Lección 15 de este curso habíamos mencionado la importancia de algunos instrumentos de medida para la correcta calibración y ajuste de los diferentes aparatos electrónicos.

En el trabajo con circuitos de radio y comunicaciones en general, uno de los instrumentos más utilizados para su alineación y prueba es el generador de radiofrecuencia o RF.

Un generador de RF es un instrumento que entrega una señal de alta frecuencia con forma de onda sinusoidal.

Las principales características que debe tener son: frecuencia variable en un amplio rango, amplitud de la señal ajustable en la salida y posibilidad de modular, con audio, la señal de RF.

En la figura A64 tenemos un modelo común de generador de RF. A continuación vamos a estudiar su manejo y funcionamiento, que se puede asimilar a otros modelos con pequeñas variaciones.

Los números encerrados en los círculos de la figura indican los diferentes controles, que tienen las siguientes funciones:

**1. Control de frecuencia.** Con esta perilla debemos seleccionar la frecuencia de RF deseada teniendo en cuenta la posición del selector de bandas 2.

**2. Selector de bandas.** En cada posición selecciona una banda de frecuencias. Ejemplo: si está en la posición C el generador puede entregar entre 1 y 3.5 MHz, dependiendo de la posición del dial.

**3. Borne para cristal.** Permite conectar allí un cristal de cuarzo para obtener una señal muy precisa.

**4. Suiche general.** Se utiliza para encender y apagar el equipo.

**5. Lámpara piloto.** Se enciende cuando se oprime el suiche general.

**6. Selector de modo.** Permite seleccionar modulación externa, modulación interna de 1KHz o activar el generador con el cristal si está instalado en sus bornes.

**7. Bornes para modulación externa.** Cuando se selecciona el modo de modulación externa, se conecta en ellos el generador de audio.



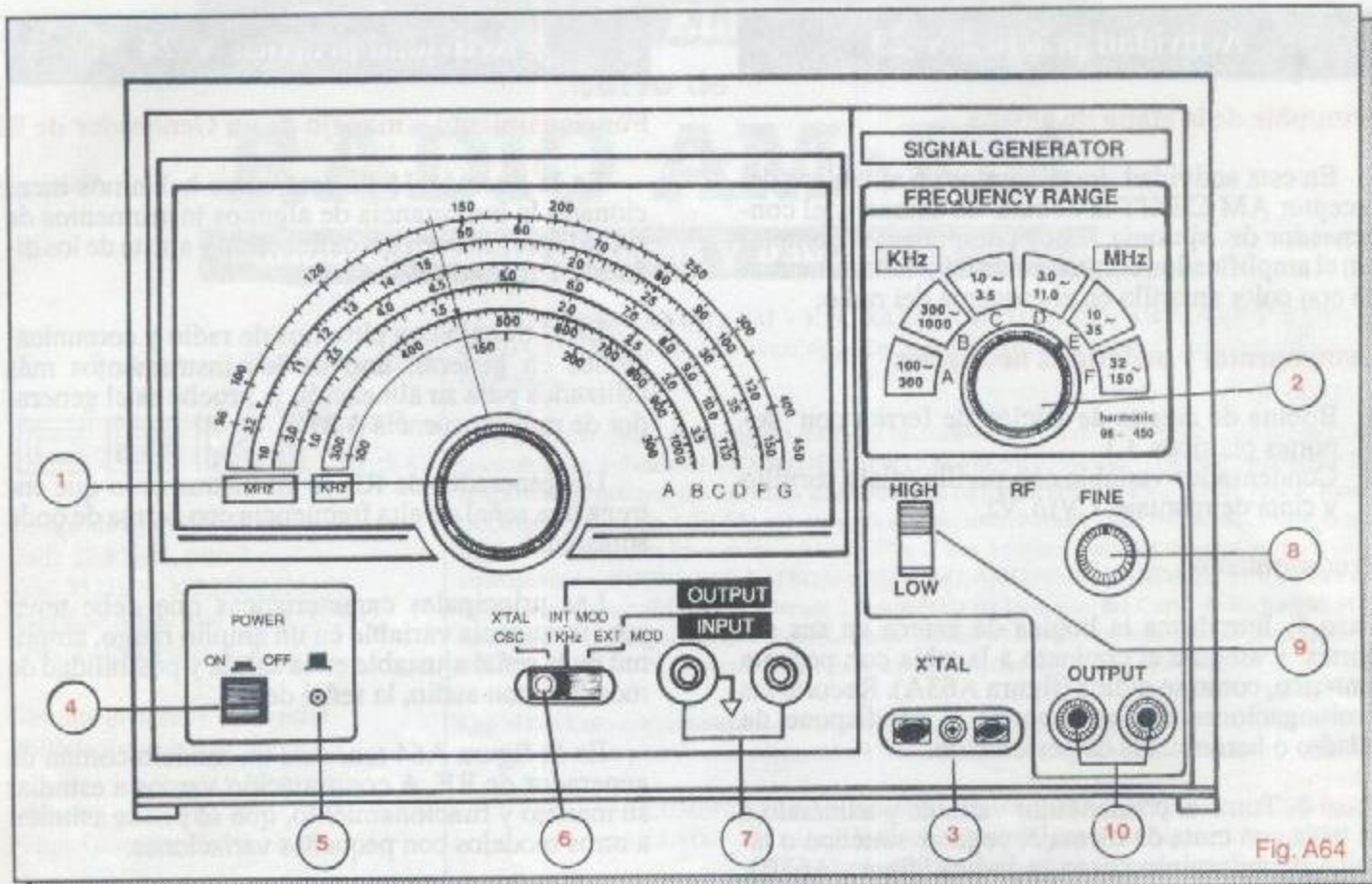


Fig. A64

**8. Control de ajuste.** Permite regular el nivel de salida de la señal.

**9. Selector de rango de salida.** Permite establecer dos niveles, alto (HIGH) y bajo (LOW), en la salida.

**10. Terminales de salida.** Por estos bornes sale la señal de RF del generador.

### Operación

Para lograr una determinada señal de RF con este generador debemos proceder de la siguiente forma:

**Paso 1.** Antes de conectar el generador al circuito se debe ajustar su frecuencia y su nivel de salida. Para hacerlo, coloque el selector de bandas en el rango de frecuencias deseado, ya sea en KHz o en MHz.

**Paso 2.** Con el control de frecuencia obtenga la frecuencia buscada moviendo el dial hasta que la marque en la escala.

**Paso 3.** Con el control de ajuste y el selector de rango de salida lleve el nivel de la señal de salida al valor deseado. Este valor se puede medir con un multímetro digital o con un osciloscopio.

Se debe tener en cuenta si el valor medido es RMS, pico o pico a pico.

**Paso 4.** Con el selector de modo seleccione si la señal es modulada internamente, externamente o sin modulación. Con estos pasos ya está listo el generador para su utilización.

Para cambiar de señal, en otras pruebas, se deben repetir los pasos anteriores.

### Características generales de este generador de RF

**Rango de frecuencias :** de 100 KHz a 150 MHz en cinco bandas así: A (100 - 300 KHz), B (300 - 1000 KHz), C (1.0 - 3.5 MHz), D (3.0 - 11 MHz), E (10 - 35 MHz) y F (32 - 150 MHz).

**Precisión en la salida de frecuencia :**  $\pm 1.5\%$

**Salida de RF :** 100 mVrms, aproximadamente.

**Control de salida :** Suiche de ALTO-BAJO y control fino de ajuste.

**Modulación :** Interna de 1 KHz y Externa de 50 Hz a 20 KHz.

**Alimentación :** 110 o 220 Voltios de CA.



## Actividad práctica N° 25

### Análisis y prueba del conversor de RF

#### Objetivo

En esta actividad alinearemos el circuito amplificador/conversor de RF del receptor de AM CEKIT y analizaremos su comportamiento, tanto en condiciones estáticas como dinámicas. Al final de esta actividad su radio quedará plenamente calibrado y trabajando en condiciones óptimas.

Las pruebas que se realizarán son las siguientes:

#### Estáticas o de CC (sin señal)

- Corriente total consumida por el radio.
- Voltajes de polarización de Q1.
- Corriente de reposo de colector de Q1.

#### Dinámicas o de CA (con señal)

- Alineamiento del transformador T1.
- Visualización de la señal del oscilador local.
- Alineamiento del LO (TC2, L2).
- Alineamiento del circuito de antena (TC1, L1).

Para la realización de estas pruebas necesitará de un multímetro, un osciloscopio y un generador de RF como equipo mínimo de prueba. Se supone que usted ya está familiarizado con el uso de estos instrumentos y con las técnicas de medición de corriente, voltaje, resistencia y frecuencia.

Si usted no posee osciloscopio ni generador de RF, en la próxima actividad le explicaremos cómo calibrar su radio sin instrumentos, utilizando otro radio de AM en servicio como modelo.

#### Equipo de prueba necesario

- 1 Multímetro digital o análogo.
- 1 Generador de RF.
- 1 Osciloscopio de doble trazo.

#### Análisis estático

El propósito del análisis estático es medir las condiciones de polarización o de CC de la etapa. Mediremos inicialmente la corriente total consumida por el receptor y luego los voltajes y corrientes de reposo del transistor Q1.

En todas las pruebas estáticas, suprima las señales de RF y local creando un cortocircuito, a través de puentes de alambre entre las puntillas B1 y B2 y las puntillas B11 y B14, respectivamente. Retire los puentes del corto al terminar este análisis.

#### Medición de la corriente total consumida

Programe el multímetro como miliamperímetro de CC en la escala de 30 mA. Conéctelo en serie a la batería con la polaridad apropiada. Encienda el interruptor y registre la corriente medida. Retire el medidor y restablezca la conexión original.

$$I_T = \text{_____ mA}$$

Una corriente excesiva puede indicar la presencia de un cortocircuito en la etapa conversora. Si este es el caso, desconecte la batería y revise todas las conexiones para detectar posibles cortos. Realice pruebas de continuidad con el óhmetro para detectar la causa de la falla.

#### Medición de las condiciones de polarización

En esta prueba mediremos los voltajes de polarización del colector, la base y el emisor de Q1 así como la corriente de reposo del colector. Utilizaremos un multímetro, digital o análogo, como instrumento de prueba.

**Paso 1.** Programe el multímetro como voltímetro de CC en la escala de 12V. Envíe el terminal negativo a tierra y toque sucesivamente con el terminal positivo el colector (C), el emisor (E) y la base (B) de Q1.

Registre los valores obtenidos en la Tabla 1. Retire el voltímetro.

VC	VE	VB	VBE

V

Tabla 1

**Paso 2.** Programe el multímetro como miliamperímetro de CC en la escala de 3 mA. Conéctelo en serie a colector de Q1 con la polaridad apropiada. Registre la corriente medida. Retire el medidor y restablezca la conexión original.

$$I_{CQ} = \text{_____ mA}$$

La corriente de colector se puede también evaluar de un modo "indirecto" midiendo la caída de voltaje sobre la resistencia R2 (1KΩ) y aplicando la Ley de Ohm. Es decir:

$$I_{CQ} = V_{R2}/R2 = V_{R2}/1K\Omega = \text{_____ mA}$$



## Análisis dinámico

Durante el análisis dinámico alinearemos el primer transformador de FI (T1) y observaremos la señal del oscilador local. Veremos como CV2, CT2 y L2 afectan la frecuencia de esta última, sin modificar sustancialmente su amplitud.

Posteriormente, alinearemos CV2, CT2 y L2 para establecer la banda de operación del oscilador local entre 985 y 2055 KHz, es decir, 455 KHz por encima de la banda de recepción de AM (530 a 1600 KHz).

Finalmente, alinearemos los componentes del circuito de antena (CV1, CT1 y L1) para establecer la banda de sintonía del receptor entre 530 y 1600 KHz.

Las pruebas de análisis dinámico descritas requieren el uso de un osciloscopio y un generador de RF. En la próxima actividad veremos cómo puede alinearse el convertidor de RF prescindiendo de estos instrumentos y utilizando un receptor de AM en servicio.

## Alineamiento del transformador T1

En esta prueba alinearemos el transformador T1 operando el transistor Q1 como amplificador de RF. Inhibiremos el efecto del oscilador local e inyectaremos una señal de 455 KHz, proveniente de un generador de RF, al circuito de antena.

Ajustaremos entonces el núcleo de T1 hasta conseguir la máxima ganancia de la etapa convertora. Posteriormente, realinearemos T2 y T3 hasta lograr la máxima ganancia de señal desde el convertor hasta el detector.

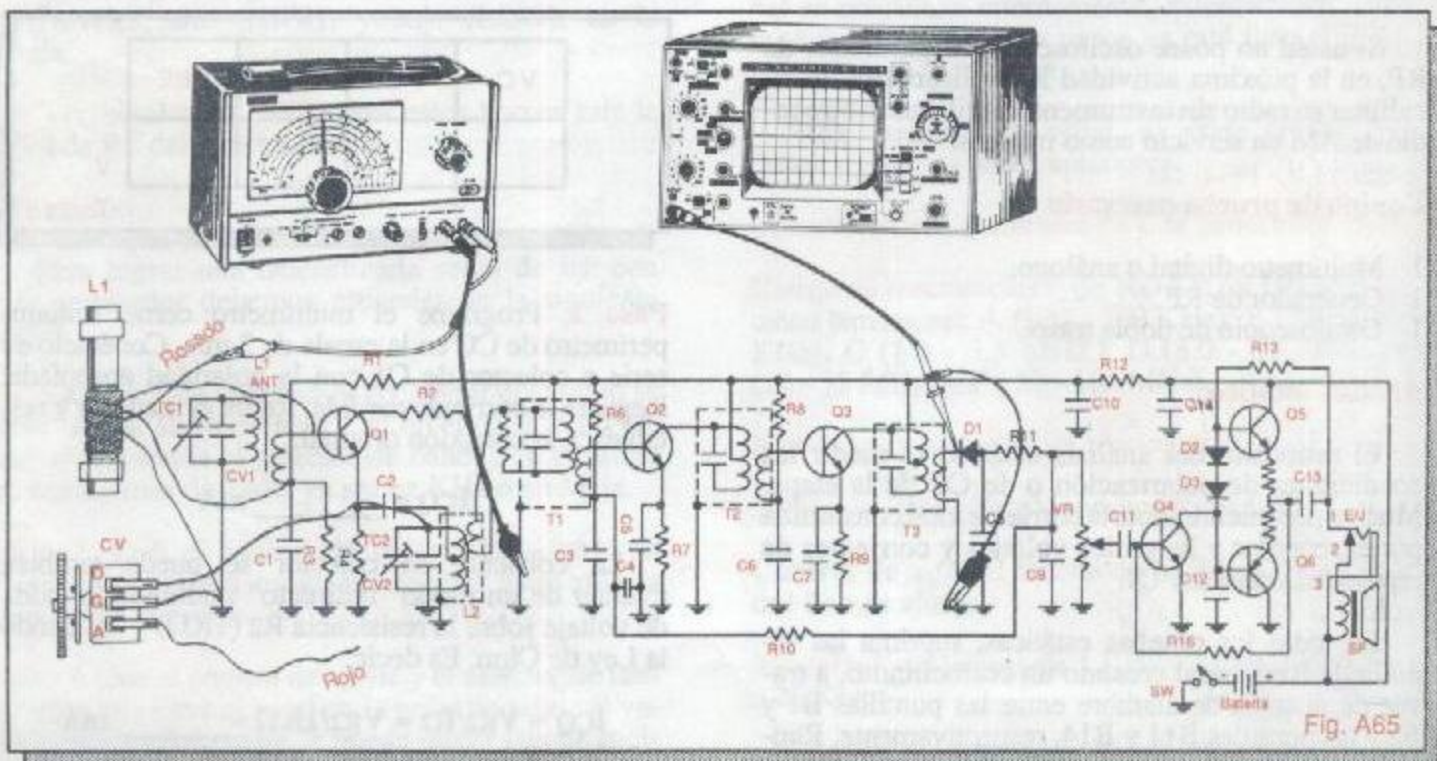
**Paso 1.** Inhabilite el oscilador local desoldando o separando el condensador C2 de la puntilla B6. Esta operación impide que la señal de realimentación local se inyecte al emisor de Q1 durante la prueba. Puede utilizar un cortafíos.

**Paso 2.** Inhabilite el circuito de antena desoldando el alambre rosado de la bobina L1 del terminal "A" del condensador variable. Esta operación impide la recepción de señales externas durante la prueba.

**Paso 3.** Programe el generador de RF para producir una señal modulada de 455 KHz y amplitud máxima, por ejemplo 500 mVpp.

**Paso 4.** Acople inductivamente la señal del generador de RF a la entrada del convertor conectando el caimán negro a cualquier puntilla de tierra del radio y el rojo al alambre rosado (libre) de L1, como se muestra en la figura A65.

Con la batería conectada y el control de volumen al máximo, se deberá escuchar el tono de modulación en el parlante o el audífono, aunque sea levemente. Después de verificar esto, elimine la modulación interna y deje sólo la onda continua de 455 KHz.





**Paso 5.** Sitúe el control de atenuación vertical del osciloscopio en 0.01 V/div y la base de tiempo en cualquier rango de 1 a 5  $\mu$ s. Conecte la sonda al cátodo del diodo detector D1 (puntilla C1) y el caimán negro a cualquier puntilla de tierra (figura A65).

**Paso 6.** Con el generador de RF sin modulación interna, ajuste lentamente el tornillo del transformador T1 (amarillo) hasta obtener la máxima señal en el osciloscopio. Utilice un destornillador plástico.

**Paso 7.** Reajuste ligeramente, en su orden, los transformadores T2, T3 y T1 hasta obtener, con cada uno, la máxima señal en el osciloscopio.

**Paso 8.** Repita el paso 7 varias veces, hasta convencerse de que la señal visualizada en el osciloscopio es, en definitiva, la máxima posible.

Una vez terminada esta prueba, los tres transformadores de FI (T1, T2 y T3) estarán perfectamente alineados a 455 KHz. La ganancia del conversor y de las etapas de FI será, bajo estas condiciones, máxima.

**Paso 9.** Conecte nuevamente la modulación interna del generador de RF. Notará que el tono en el parlante o el audífono se escucha ahora con mayor intensidad. Si lo desea, inmovilice los núcleos con resina epóxica, parafina derretida o similar para prevenir desajustes.

**Paso 10.** Apague el radio. Reconecte el condensador C2 a la puntilla B6 y el alambre rosado de la bobina L1 al terminal "A" del condensador variable. Desconecte los instrumentos del radio.

Encienda el radio y sitúe el control de volumen al máximo o en una posición intermedia. Mueva lentamente el dial del condensador variable. Notará que se sintonizan varias emisoras de su localidad.

### Visualización de la señal del oscilador local

En esta prueba observaremos en el osciloscopio la señal del oscilador local. Comprobaremos cómo L2, CV2 y CT2 influyen en la frecuencia de la misma. Realizaremos también algunas medidas previas de voltaje y frecuencia en los extremos de la escala. La alineación definitiva del circuito se realiza en la prueba siguiente.

**Paso 1.** Encienda su radio, sitúe el control de volumen en una posición intermedia y gire completamente la perilla de sintonía (CV2) en sentido CCW (contrario a las manecillas del reloj).

**Paso 2.** Programe el osciloscopio para una atenuación vertical de 0.1 V/div y ajuste la base de tiempo

en 0.5 ó 1  $\mu$ s/div. Conecte la sonda a la puntilla B6 y el caimán negro a cualquier puntilla de tierra.

Observe la señal del oscilador local en el osciloscopio. Deberá ser una onda prácticamente sinusoidal y sin distorsión, de amplitud uniforme y con una determinada frecuencia. Registre los valores de amplitud y frecuencia obtenidos.

$$Aos = \text{_____ mVpp}$$

$$Fos (\text{mín}) = \text{_____ KHz}$$

**Paso 3.** Gire lentamente la perilla de sintonía en dirección CW (el mismo de las manecillas del reloj) y observe las formas como cambia (aumenta) la frecuencia de la señal observada a medida que avanza el dial. A intervalos regulares escuchará algunas emisoras de AM de su localidad.

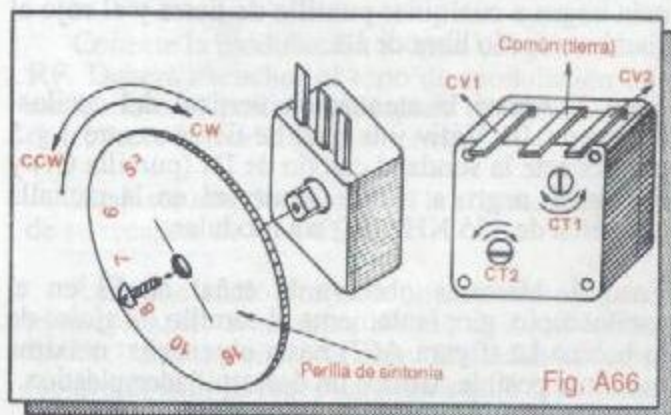
Notará también que la amplitud de la señal local se mantiene prácticamente constante. Registre los valores de amplitud y frecuencia obtenidos cuando el dial llega a su tope máximo.

$$Aos = \text{_____ mVpp}$$

$$Fos (\text{mín}) = \text{_____ KHz}$$

**Paso 4.** Sitúe el dial en una posición intermedia y observe el efecto del condensador trimmer CT2 en la frecuencia del oscilador local.

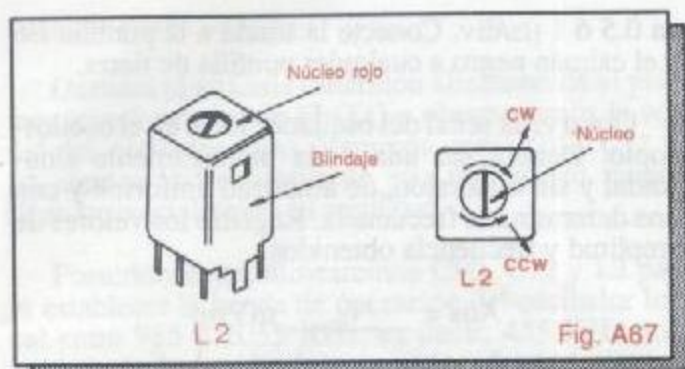
Gire el tornillo de ajuste de este condensador (figura A66) mientras observa en el osciloscopio la señal del LO. Utilice un destornillador plástico. Derive sus propias conclusiones.



**Paso 5.** Con el dial y el tornillo de ajuste de CT2 en posiciones intermedias, observe el efecto de la bobina L2 en la frecuencia del oscilador local.

Gire el tornillo de ajuste de esta bobina (figura A67) en una u otra dirección mientras observa en





el osciloscopio la señal del LO. Utilice un destornillador plástico. Derive sus propias conclusiones.

### Alineamiento del oscilador local. Método 1

En esta prueba alinearemos el oscilador local mediante el generador de RF. Acoplaremos la señal del generador a la base de Q1 por inducción, inyectándola al primario de L1. Utilizaremos una señal de RF relativamente fuerte para "enmascarar" las señales de AM que convergen a la antena.

Estableceremos el límite inferior de frecuencia del LO calibrando el núcleo ajustable de la bobina L2 y el límite superior calibrando el tornillo de ajuste del trimmer CT2.

**Paso 1.** Desconecte el alambre rosado de la bobina L1 del terminal "A" del condensador variable. Gire completamente la perilla de sintonía en sentido CCW (antihorario). Prenda su radio y sitúe el control de volumen en una posición intermedia.

**Paso 2.** Programe el generador de RF para suministrar una señal sin modulación de 530 KHz y amplitud máxima, digamos 500 mVpp. Conecte el caimán negro a cualquier puntilla de tierra y el rojo al alambre rosado libre de L1.

**Paso 3.** Ajuste la atenuación vertical del osciloscopio en 0.01 V/div y la base de tiempo entre 1 y 5  $\mu$ s. Conecte la sonda al cátodo de D1 (puntilla C1) y el caimán negro a tierra. Observará en la pantalla una señal de 455 KHz (FI) sin modular.

**Paso 4.** Mientras observa la señal de FI en el osciloscopio, gire lentamente el tornillo de ajuste de la bobina L2 (figura A67) hasta obtener la máxima amplitud posible. Utilice un destornillador plástico.

Conecte la modulación interna del generador de RF. Deberá escuchar el tono de modulación en el audífono o el parlante. Después de verificar esto, desconecte la modulación interna.

**Paso 5.** Gire completamente la perilla de sintonía en sentido CW (horario). Programe el generador de RF

para suministrar una señal sin modulación de 1600 KHz. Mantenga conectado el osciloscopio a la puntilla C1.

**Paso 6.** Mientras observa la señal de FI en el osciloscopio, gire lentamente el tornillo de ajuste del trimmer CT2 (figura A66) hasta obtener la máxima amplitud posible. Utilice un destornillador plástico.

Conecte la modulación interna del generador de RF. Deberá escuchar el tono de modulación en el audífono o el parlante. Después de verificar esto, desconecte la modulación interna. El ajuste anterior completa la alineación del oscilador local.

Apague el radio y retire los instrumentos. Conecte nuevamente el alambre rosado de L1 al terminal "A" del condensador variable. Encienda el radio y recorra el dial. Note cómo ha mejorado la sintonía.

### Alineación del oscilador local. Método 2

En esta prueba alinearemos el oscilador local mediante el generador de RF. Acoplaremos la señal del generador a la base de Q1 capacitivamente, es decir mediante un condensador.

Desconectaremos el circuito de antena para minimizar la influencia de señales externas. Estableceremos los límites inferior y superior de frecuencia del LO de la misma forma anterior.

**Paso 1.** Desconecte el alambre rosado de la bobina L1 del terminal "A" del condensador variable y el alambre rojo de la base del transistor Q1. Gire completamente la perilla de sintonía en sentido CCW (antihorario).

Prenda su radio y sitúe el control de volumen en una posición intermedia.

**Paso 2.** Programe el generador de RF para suministrar una señal sin modulación de 530 KHz y el osciloscopio con una atenuación de 0.005 V/div y una base de tiempo entre 1 y 5  $\mu$ s.

Conecte el caimán negro del generador de RF a tierra y el rojo a la base de Q1 a través de un condensador de desacople de 0.01  $\mu$ F. Con el mismo terminal de este condensador, realice un puente temporal entre las puntillas B2 y B1 (figura A68).

Conecte la sonda del osciloscopio a la base de Q1 (puntilla B2) y el caimán negro a tierra. Ajuste el control de amplitud del generador de RF hasta visualizar en el osciloscopio una señal de 10 mVpp.

Después de verificar lo anterior, desconecte la sonda de la base de Q1. Los demás pasos, a partir del 3 son los mismos del método 1.



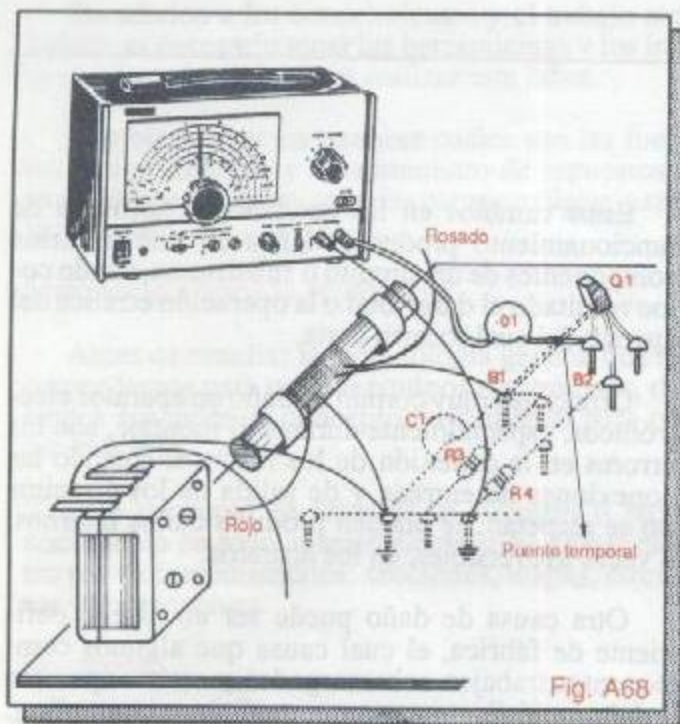


Fig. A68

Al concluir el alineamiento, apague el radio y retire los instrumentos. Elimine el puente temporal entre las puntillas B1 y B2. Conecte nuevamente el alambre rosado de L1 al terminal "A" del condensador variable y el rojo a la base de Q1.

### Alineamiento del circuito de antena

En esta prueba alinearemos el circuito de antena mediante el generador de RF. Acoplaremos la señal del generador a la base de Q1 por inducción, inyectándola al primario de L1. Utilizaremos una señal de RF relativamente fuerte para "enmascarar" las señales de AM que convergen a la antena.

Estableceremos el límite inferior de frecuencia de la banda de sintonía (530 KHz) encontrando la posición óptima de L1 en su núcleo y el límite superior calibrando el tornillo de ajuste del trimmer CT1.

**Paso 1.** Desconecte el alambre rosado de la bobina L1 del terminal "A" del condensador variable. Gire completamente la perilla de sintonía en sentido CCW (antihorario). Prenda su radio y sitúe el control de volumen en una posición intermedia.

**Paso 2.** Programe el generador de RF para suministrar una señal sin modulación de 530 KHz y amplitud máxima, digamos 500 mVpp. Conecte el caimán negro a cualquier puntilla de tierra y el rojo al alambre rosado libre de L1.

**Paso 3.** Ajuste la atenuación vertical del osciloscopio en 0.01 V/div y la base de tiempo entre 1 y 5  $\mu$ s. Conecte la sonda al cátodo de D1 (puntilla C1) y

el caimán negro a tierra. Observará en la pantalla una señal de 455 KHz (FI) sin modular.

**Paso 4.** Mientras observa la señal de FI en el osciloscopio, desplace lentamente la bobina L1 a lo largo del núcleo de ferrita (figura A69) hasta obtener la máxima amplitud posible. Preserve el punto de ajuste inmovilizando la bobina L1 al núcleo con pegante epóxico o parafina derretida.

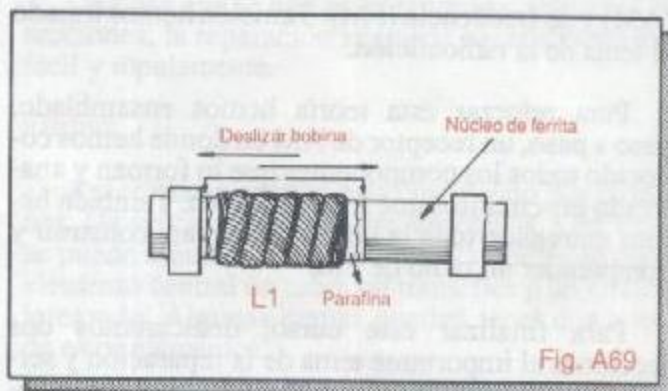


Fig. A69

Conecte la modulación interna del generador de RF. Deberá escuchar el tono de modulación en el audífono o el parlante. Después de verificar esto, desconecte la modulación interna.

**Paso 5.** Gire completamente la perilla de sintonía en sentido CW (horario). Programe el generador de RF para suministrar una señal sin modulación de 1600 KHz. Conecte el osciloscopio a la puntilla C1.

**Paso 6.** Mientras observa la señal de FI en el osciloscopio, gire lentamente el tornillo de ajuste del trimmer CT1 (figura A66) hasta obtener la máxima amplitud posible. Utilice un destornillador plástico.

Conecte la modulación interna del generador de RF. Deberá escuchar el tono de modulación en el audífono o el parlante. Después de verificar esto, desconecte la modulación interna.

El ajuste anterior completa la alineación general de su receptor de AM CEKIT.

Apague el radio y retire los instrumentos. Conecte nuevamente el alambre rosado de L1 al terminal "A" del condensador variable. Encienda el radio y recorra el dial. El receptor debe captar las emisoras de AM que transmiten en la banda de 530 a 1600 KHz de su localidad.

En la próxima actividad realizaremos el alineamiento definitivo de esta etapa utilizando un receptor de AM en servicio. Si el radio no le funciona apropiadamente, la Lección 40 le enseñará un método para localizar el origen de la falla.



## Reparación de radios AM

### Introducción

En las lecciones anteriores hemos estudiado la teoría básica de las comunicaciones por radio a través de los sistemas de modulación de amplitud (AM) y de frecuencia (FM). También hemos tratado el tema de la radioafición.

Para reforzar esta teoría hemos ensamblado, paso a paso, un receptor de AM en donde hemos conocido todos los componentes que lo forman y analizado los circuitos que lo constituyen. También hemos entregado toda la información para construir y comprender un radio de FM.

Para finalizar este curso, dedicaremos dos lecciones al importante tema de la reparación y servicio de aparatos de radio AM y FM, también conocido como *troubleshooting* en el argot técnico.

Partiendo de la base de que usted ya posee un bagaje importante de conocimientos teóricos y prácticos, adquiridos a lo largo de las distintas lecciones y actividades de este curso, en las Lecciones 40 y 41 lo orientaremos sobre una metodología a seguir en la reparación exitosa de aparatos de radio.

Esta metodología es de aplicación general y por lo tanto se puede derivar hacia la reparación de otros aparatos electrónicos.

En la Lección 40 trataremos inicialmente el tema en forma general y luego aplicaremos la metodología de reparación al caso específico del radio AM CEKIT que hemos ensamblado en este curso. En la Lección 41 haremos lo propio con el radio FM CEKIT.

### Reparación de equipos electrónicos

La reparación de equipos electrónicos es una técnica que ha estado ligada al desarrollo de la electrónica misma desde sus comienzos. La razón de su existencia se debe al hecho de que los componentes electrónicos no son completamente inmunes a condiciones anormales de funcionamiento y se pueden dañar en cualquier momento.

Aunque la gran mayoría de los circuitos electrónicos se diseñan para que puedan soportar cambios bruscos en sus parámetros eléctricos, todo aparato está expuesto a sobrevoltajes, sobrecorrientes o cortocircuitos, así como a variaciones bruscas de temperatura, golpes e impactos mecánicos.

Estos cambios en las condiciones normales de funcionamiento producen daños en uno o varios componentes de un circuito o subsistema, dando como resultado el daño total o la operación errática del aparato del cual forman parte.

Otra causa muy común de daño en aparatos electrónicos, especialmente durante el montaje, son los errores en la conexión de los mismos. Cuando las conexiones de entrada y de salida de los circuitos no se respetan, se pueden producir daños internos, a veces irreversibles, en los aparatos.

Otra causa de daño puede ser un diseño deficiente de fábrica, el cual causa que algunos componentes trabajen sobrecargados y estén expuestos a dañarse fácilmente a corto, mediano o largo plazo.

Además, ciertos componentes electrónicos tienen una vida útil determinada, al cabo de la cual ya no funcionan correctamente o dejan de funcionar totalmente, causando daños en el aparato en que están conectados.

Esta es sólo una parte de las múltiples causas por las que se pueden dañar los aparatos electrónicos y con las cuales usted se irá familiarizando a medida que tenga experiencia en la reparación de ellos.

La reparación de aparatos electrónicos es una profesión muy difundida en todo el mundo debido a la gran cantidad de éstos que hay instalados. Cada vez más, el hombre utilizará un mayor número de aparatos electrónicos, lo que incrementa la necesidad de técnicos especializados en su reparación.

La profesión de técnico se puede convertir en una actividad muy lucrativa. Existen, incluso, empresas completas dedicadas exclusivamente al mantenimiento y servicio de equipos electrónicos.

Las cualidades más importantes que debe reunir un técnico en electrónica son: ser estudioso, estando siempre al día en las tecnologías del momento, ser muy metódico, realizando su trabajo con conocimiento y ser muy organizado, planeando muy bien sus actividades.

En la reparación de equipos electrónicos, además de tener buenos conocimientos teóricos y prácticos, es necesario adoptar un método eficiente y seguro que nos garantice efectuar con éxito la gran mayoría de los trabajos que emprendamos.



En adición a los conocimientos y el trabajo metódico, es necesario tener las herramientas y los instrumentos adecuados para realizar esta labor.

También debemos conocer cuáles son las fuentes de información y de suministro de repuestos o partes de reemplazo necesarias para completar las reparaciones.

### Metodología para la reparación

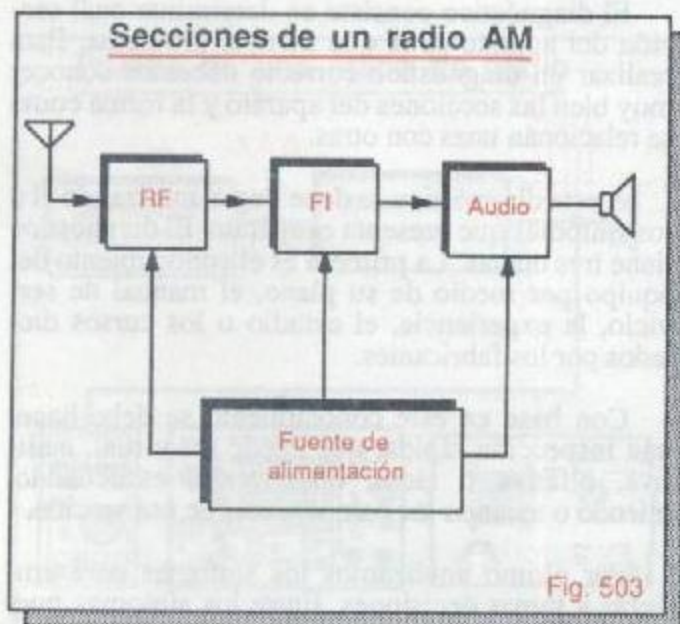
Antes de estudiar la metodología general que recomendamos para reparar equipos electrónicos, debemos aprender un concepto fundamental para poder aplicarla.

Este concepto se trata de la división o reconocimiento en todo aparato electrónico de sus cuatro partes fundamentales: secciones, etapas, circuitos y componentes.

### Secciones

Todo aparato electrónico se puede dividir en secciones. Una sección es la parte de un aparato que realiza una función específica diferente a las demás de acuerdo a las señales presentes en ella. Esta es la mínima división que podemos hacer y la debemos tener claramente definida antes de iniciar la labor de reparación.

En la figura 503 tenemos como ejemplo la división de un radio AM en sus correspondientes secciones.



Para conocer estas secciones lo primero que debemos tener o conseguir es el manual de servicio o

el diagrama esquemático o plano del aparato que vamos a reparar. En ellos encontraremos la información necesaria para establecer esta división.

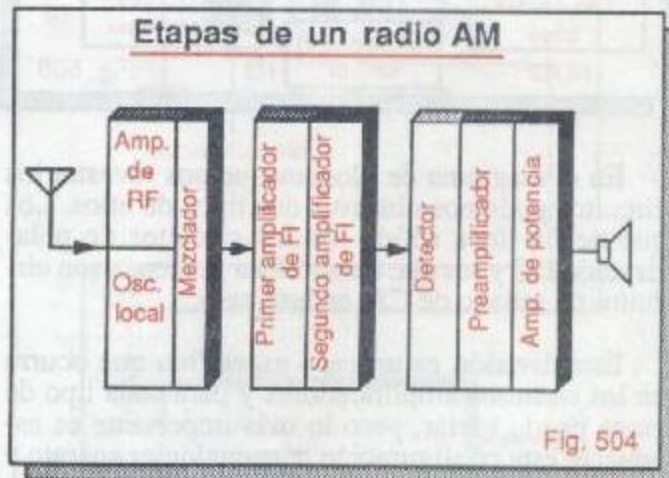
Si no tenemos esta información debemos elaborarla dibujando el diagrama del aparato a partir del circuito real, lo que es un poco difícil pero no imposible. El tiempo empleado en esta labor nos ahorra el tiempo gastado en reparar un equipo sin información y que puede ser mucho mayor.

Una vez que se han comprendido claramente las secciones, la reparación se puede hacer mucho más fácil y rápidamente.

### Etapas

Así como un aparato está compuesto por secciones, las secciones se dividen en etapas. Una etapa se puede identificar claramente, ya que tiene como elemento central un tubo, un transistor o un circuito integrado. Algunas etapas pueden tener dos o más de estos elementos.

En la figura 504 podemos observar la división de las secciones del radio AM en sus etapas correspondientes. Todas las etapas de una sección trabajan con el mismo tipo de señal.



Hay un concepto muy importante que podemos observar en la etapa mezcladora de la sección de RF y en la etapa detectora de la sección del amplificador de audio.

Estas etapas se utilizan para unir dos secciones y generalmente convierten un tipo de señal en otro. Estas etapas reciben el nombre de *etapas acopladoras* o de interfase.

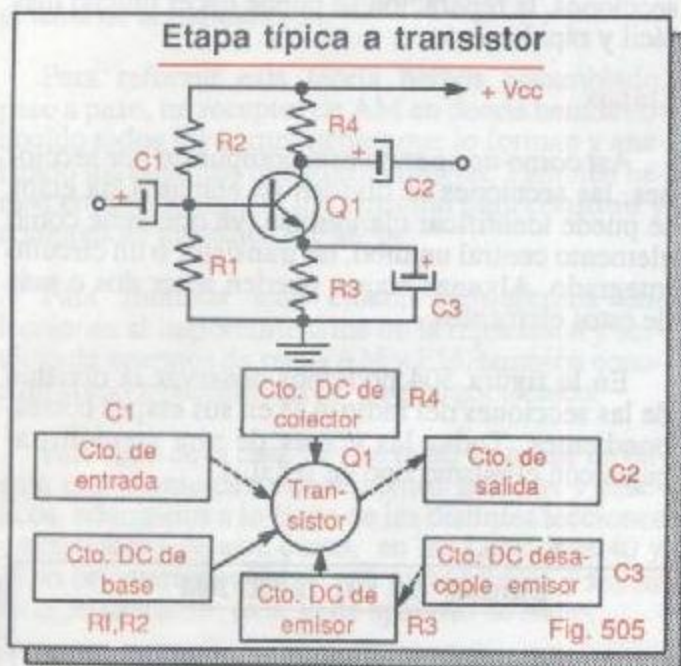
Estas etapas forman parte de dos secciones, su entrada es parte de la sección anterior y su salida es parte de la sección siguiente.



## Circuitos

La siguiente división que debemos hacer es la de los **circuitos**. Comúnmente se ha llamado a una etapa un circuito pero esto es equivocado. Los circuitos son las diferentes partes de una etapa.

Para entender mejor este concepto vamos a analizar un ejemplo real utilizando una etapa con transistor como la que se muestra en la figura 505.



En el diagrama de bloques que nos muestra los circuitos podemos observar dos tipos de ellos. Los que tienen línea sólida son los circuitos de polarización DC y los que tienen línea punteada son circuitos de señal o de CA, en este caso.

Esta división es un caso específico que ocurre en los circuitos amplificadores y para cada tipo de etapa puede variar, pero lo más importante es establecer esta configuración para cualquier aparato y en nuestro caso para los aparatos de radio AM.

En la figura anterior podemos observar que hay tres circuitos de polarización claramente definidos: el circuito de colector, el circuito de emisor y el circuito de base. Además de éstos hay dos circuitos de señal uno de entrada y otro de salida.

Esta identificación de los circuitos de una etapa también es muy útil para efectuar reparaciones fácilmente.

Conociendo los circuitos podemos realizar medidas de voltaje y de corriente y evaluar la calidad de los componentes.

## Componentes o partes

La última división de un aparato es cuando establecemos los componentes o partes que forman un circuito. Estos componentes ya son elementos únicos como transistores, resistencias, condensadores, etc., y se denominan generalmente por su nombre y la función que desempeñan en el circuito.

Así tenemos por ejemplo, la resistencia de emisor, el condensador de acoplamiento, el transistor convertidor, etc. El comportamiento de cada componente se debe diferenciar si se hace un análisis de polarización en CC o se analiza el paso de una señal de CA.

Una vez conocida esta división de un aparato en componentes vamos a estudiar el método recomendado a seguir en las reparaciones.

### Método para las reparaciones

El método para las reparaciones está directamente relacionado con la división establecida en las páginas anteriores.

Este método también está compuesto por cuatro pasos o partes que son:

1. Diagnóstico.
2. Localización.
3. Aislamiento.
4. Sustitución.

### 1. Diagnóstico

El diagnóstico consiste en determinar cuál sección del aparato es la que tiene el problema. Para realizar un diagnóstico correcto debemos conocer muy bien las secciones del aparato y la forma como se relacionan unas con otras.

A este diagnóstico se debe llegar analizando el o los síntomas que presenta el aparato. El diagnóstico tiene tres etapas. La primera es el conocimiento del equipo por medio de su plano, el manual de servicio, la experiencia, el estudio o los cursos dictados por los fabricantes.

Con base en este conocimiento se debe hacer una inspección rápida, que puede ser visual, auditiva, olfativa o táctil, observando, escuchando, oliendo o tocando los componentes de esa sección.

Por último analizamos los síntomas para empezar a tomar decisiones. Entre los síntomas pueden estar: el equipo no trabaja nada, o trabaja parcialmente con algunas deficiencias en su funcionamiento, o sus controles no trabajan, o trabaja sólo un momento, o trabaja en forma intermitente.



Establecer el síntoma correcto es el primer paso para lograr la reparación. Con la experiencia se logra una gran habilidad para asociar inmediatamente el síntoma con la sección que lo produce. Para llegar a estas conclusiones se necesita tener razonamiento lógico.

No debemos apresurarnos a seguir siempre el método de los cuatro pasos en forma mecánica. También la intuición juega un papel importante en cualquier reparación.

## 2. Localización

Una vez que estamos seguros de la sección que tiene el problema, debemos hallar la etapa en esa sección que causa el problema. El objetivo de este paso no es encontrar todavía la parte o componente defectuoso: se trata de acercarnos a él.

En este paso debemos empezar a utilizar los instrumentos. Con las pruebas y la observación de los síntomas podemos determinar rápidamente cuál es la etapa defectuosa.

La mejor manera de determinar si una etapa de un radio está trabajando bien es inyectar una señal similar a la que utiliza esa etapa en su normal funcionamiento.

Para hacerlo debemos tener disponible generadores de señal como los que hemos estudiado en este curso: un generador de RF, un generador de audio, un inyector de señales o similares que se utilizan según la etapa a probar.

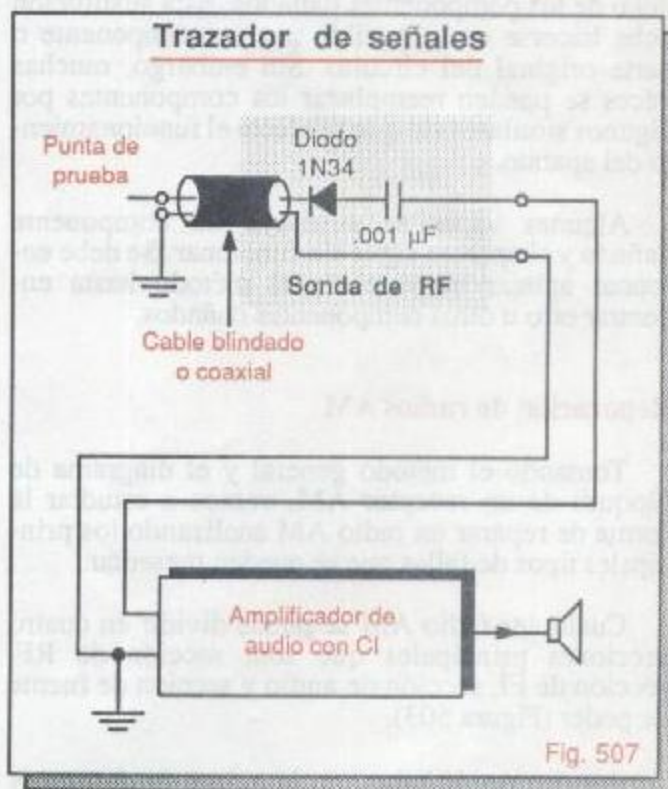


Una vez aplicada la señal debemos tener la forma de comprobar que ésta es bien procesada por la etapa que estamos analizando.

En las etapas amplificadoras de audio, por ejemplo, podemos aplicar una señal débil audible en la entrada la cual debe resultar amplificada en la salida de esa etapa. Para comprobar este proceso necesitamos un voltímetro, un osciloscopio o un trazador de señales. Figura 506.

Un trazador de señales es un amplificador de audio que se utiliza para detectar si hay sonido en una etapa. Este es uno de los instrumentos más versátiles para la reparación de radios y lo podemos construir fácilmente.

Para ello se puede emplear uno de los circuitos amplificadores de audio con circuito integrado estudiados en la Lección 38 de este curso. Para hacer el circuito aplicable a señales de RF se le conecta en la entrada un circuito detector de RF (figura 507).



Algunas etapas, como los osciladores, producen su propia señal y solamente debemos observar si entrega la señal correcta de acuerdo a lo estudiado en el curso.

Una vez establecido que una etapa nos entrega la señal que debe suministrar, debemos proceder a medir voltajes y corrientes en CC hasta determinar el componente o la conexión defectuosa.



### 3. Aislamiento

En este paso del método nos vamos acercando más al objetivo de la reparación y debemos *aislar* el circuito defectuoso. Este circuito está formado por pocos componentes y ya podemos verificar su funcionamiento uno por uno sin tomarnos mucho tiempo.

Midiendo en un transistor sus voltajes de colector, emisor o base podemos determinar si el transistor está dañado o si alguno de sus componentes relacionados, especialmente resistencias, está defectuoso.

Si hay dudas sobre un componente podemos desconectarlo y medirlo por fuera del circuito. Esto elimina la posibilidad de interacción con los otros componentes del circuito.

### 4. Sustitución

El paso final de toda reparación es la sustitución del o de los componentes dañados. Esta sustitución debe hacerse en lo posible por un componente o parte original del circuito. Sin embargo, muchas veces se pueden reemplazar los componentes por algunos similares sin que se afecte el funcionamiento del aparato.

Algunas veces se sustituye un componente dañado y el aparato sigue sin funcionar. Se debe entonces aplicar nuevamente el método hasta encontrar otro u otros componentes dañados.

### Reparación de radios AM

Tomando el método general y el diagrama de bloques de un receptor AM, vamos a estudiar la forma de reparar un radio AM analizando los principales tipos de fallas que se pueden presentar.

Cualquier radio AM se puede dividir en cuatro secciones principales que son: sección de RF, sección de FI, sección de audio y sección de fuente de poder (Figura 503).

Aunque puede haber muchos tipos de daños, los síntomas más frecuentes que se presentan en los radios son los siguientes:

1. El radio no funciona totalmente.
2. Sonido muy débil.
3. Recepción intermitente y ruidosa.
4. Ruido de fondo muy alto.
5. Distorsión en el sonido.
6. Ruidos de alta frecuencia.
7. Sonido demasiado agudo.

Como se mencionó en el método debemos aprender a buscar la sección del radio que se relaciona con los síntomas presentados. Vamos ahora a tratar brevemente cada uno de los síntomas y el procedimiento a seguir.

### 1. El radio no funciona

Este primer caso, en donde un radio no produce ningún sonido, es quizás el más fácil de reparar. Probablemente, el daño se puede encontrar en la sección de audio o en la de la fuente de poder.

Lo primero que debemos hacer es verificar con un multímetro el estado de las pilas o baterías con el radio encendido. Si estos están bien, se debe verificar el funcionamiento del interruptor general para ver si está pasando el voltaje al aparato.

Si ese no es el problema, se debe probar el parlante. Luego podemos inyectar señal a la entrada de la sección de audio y se debe escuchar algo en el parlante. Si no ocurre esto debemos dividir la sección de audio e inyectar señal a cada una de sus etapas hasta encontrar cuál está defectuosa.

Una vez encontrada la etapa debemos medir sus voltajes de polarización hasta detectar el o los componentes defectuosos.

Si el radio tiene fuente de poder se verifica su funcionamiento. Muchas veces se daña el transformador de entrada que alimenta el circuito. Otro daño muy común en esta sección es un fusible de entrada.

Este se debe reemplazar siempre por uno de igual valor y si se sigue quemando nos indica que hay un corto en el aparato y debemos encontrarlo antes de seguir adelante.

Para este tipo de daños es muy útil tener una fuente variable con limitador de corriente. Esto nos permite ir probando cada sección hasta detectar el cortocircuito sin dañar otros componentes.

### 2. Sonido muy débil

Si el radio sintoniza todas las emisoras pero su volumen es muy débil, se debe buscar el problema en la sección de audio.

Allí se deben medir los voltajes de polarización de los transistores o de los circuitos integrados para determinar si éstos o alguna resistencia conectada a ellos está dañada. Si trabajan bien se debe buscar el problema en alguno de los condensadores del circuito.



Un condensador puede estar en cortocircuito o en circuito abierto. Si este último es el caso, no deja pasar la señal.

### 3. Recepción intermitente y ruidosa

En este caso, el radio sólo funciona cuando se coloca en determinadas posiciones o se golpea. Incluso se escucha un chisporroteo de fondo. Una forma práctica de encontrar la etapa a partir de la cual se manifiesta la perturbación es utilizando un analizador dinámico o trazador de señales.

La causa más frecuente de esta falla es la rotura de una de las pistas de cobre del circuito impreso de la etapa. Para identificar la pista defectuosa, provoque una avería total, presionando levemente la plaqueta hasta que la recepción se interrumpa por completo. Así es más fácil arreglar el problema.

Realice a continuación pruebas de continuidad con el óhmetro en todas las pistas de cobre de la etapa, especialmente las que llevan la corriente de alimentación. Recuerde que el óhmetro debe utilizarse con la energía desconectada.

Una vez identificada la pista defectuosa, reconstruya la conexión original con soldadura o alambre y pruebe el radio. Si la falla persiste, localice con el trazador de señales la siguiente etapa a partir de donde comienza la falla y efectúe las pruebas de continuidad.

Si después de medir y corregir la continuidad de las pistas el problema persiste, la causa debe buscarse en soldaduras "frías", terminales quebrados o componentes defectuosos.

### 4. Ruido de fondo muy alto

La mayoría de receptores presentan un ruido de fondo más o menos alto cuando se gira el control de volumen al máximo. Para calificar este ruido como excesivo, debe compararse con el de otro receptor bajo las mismas condiciones.

Un ruido excesivo puede originarse por un ajuste defectuoso de la RF o la FI, el cual obliga a utilizar al máximo la amplificación de audio. También puede ser provocado por un potenciómetro de control de volumen ruidoso o localizarse en el preamplificador de audio.

### 5. Distorsión en el sonido

Una forma de distorsión muy común en los receptores de radio es la que se manifiesta únicamente durante la recepción de una emisora local. La causa más probable es un desajuste en el circuito de control automático de ganancia (CAG).

Un segundo tipo de distorsión es la que es perceptible en la recepción de todas las emisoras, especialmente en las que transmiten con baja potencia. La causa más común es una polarización insuficiente de la etapa de salida del amplificador de audio.

Algunos receptores traen un potenciómetro para ajustar la corriente de polarización de los transistores de salida. Este potenciómetro debe ajustarse sólo lo necesario para que desaparezca la distorsión, sin provocar una corriente excesiva. Se recomienda utilizar un osciloscopio.

Otro tipo de distorsión implica también la pérdida de potencia. La recepción es normal a bajo volumen pero cuando se aumenta éste, la señal se distorsiona. Sucede generalmente porque los transistores de salida no son simétricos o uno de ellos ha dejado de trabajar por completo.

### 6. Ruidos de alta frecuencia

Los silbidos de alta frecuencia o "enganches" provienen, por regla general, de los amplificadores de FI o del convertidor de RF. No se producen en todas las frecuencias.

Los silbidos en las etapas de FI se originan al variar la capacitancia interna entre colector y base de uno de los transistores. La forma de compensar esta variación es ajustar el condensador de neutralización, si lo trae, o reemplazar el transistor.

En otros casos, los ruidos de alta frecuencia son provocados por variaciones espontáneas en las características y valores de los condensadores de neutralización y de desacople y/o acoplamiento de FI.

Los silbidos de alta frecuencia originados en la etapa de conversión son particularmente estridentes y se deben a una reacción demasiado intensa del oscilador local. Una forma de corregir esta falla es reducir el voltaje de alimentación del convertidor, aumentando el valor de la resistencia limitadora.

Otro recurso para minimizar la reacción del oscilador local es insertar una resistencia de 10 a 50  $\Omega$  en serie con el emisor del transistor convertidor. Naturalmente, debe abrirse el circuito impreso en ese punto.

### 7. Sonido demasiado agudo

Cuando la reproducción de las frecuencias bajas es deficiente se presenta el fenómeno de la sonoridad aguda, caracterizado por la proliferación de altas frecuencias de audio. En estos casos debe examinarse el parlante para detectar algún bloqueo accidental en la bobina móvil o en la membrana.



El fenómeno de la sonoridad aguda va acompañado generalmente de distorsión y pérdida de potencia y sensibilidad. Si el parlante está en buen estado, la causa debe buscarse en un condensador de acoplamiento o de desacople.

Si la deficiencia en la reproducción de tonos graves se manifiesta cuando se conecta el trazador de señales al control de volumen, lo más probable es que esté fallando el condensador de desacople del CAG.

## Guía de reparación de fallas del radio AM CEKIT

Si después de ensamblar todos los componentes en el tablero y seguir los procedimientos de alineación explicados en las actividades 25 y 26 su radio no le funciona como debe ser, identifique la categoría de la falla y realice las acciones correctivas que se recomiendan a continuación.

Localice la etapa defectuosa por el método explicado anteriormente. Compare su circuito con la guía a color. Busque componentes mal colocados, invertidos o en cortocircuito, así como soldaduras frías o puentes de alambre o de soldadura entre puntillas que no deben estar conectadas.

En cada etapa que revise, mida los voltajes de polarización de los transistores. En la tabla 1 se resumen los valores de voltaje de polarización típicos que deben obtenerse en diferentes puntos del receptor.

Transistor	Base (B)	Colector (C)	Emisor (E)
Q1	2.3 V	6.8 V	1.9 V
Q2	0.58 V	7.7 V	0.13
Q3	2.2 V	7.8 V	1.6 V
Q4	0.73 V	5.4 V	0.0 V
Q5	6.7 V	9.0 V	6.1 V
Q6	5.4 V	0.0 V	6.1 V

Vcc: Batería alcalina de 9V

Tabla 1

Si después de realizar todas las pruebas y estar seguro de que no hay componentes defectuosos ni errores de montaje, su radio continúa sin trabajar, deberá realinearlo paso a paso.

Recuerde que su receptor consta de fuente de alimentación, amplificador de audio, detector, segundo amplificador de FI, primer amplificador de FI y amplificador/conversor de FI. De este último forman parte el oscilador local y el mezclador.

Mida la corriente consumida por el radio para detectar la presencia de un posible cortocircuito. En condiciones normales, el radio consume de 3 a 15 mA. Si la corriente es excesiva, apague el radio, desconecte la resistencia y mídala nuevamente.

Si sigue siendo excesiva, el problema está en el amplificador de audio. Si no es así, localícelo en las secciones de FI o RF. Compare su circuito con la guía a color para encontrar la causa del corto. En especial, busque componentes mal colocados, invertidos o en cortocircuito interna o externamente.

Si el problema no es por cortocircuito, mida los voltajes de suministro del amplificador de audio (puntilla 38) y de las demás secciones (puntilla 39). En la puntilla 38 deberá medir 9V. En la puntilla 39 deberá medir 7 V, aproximadamente. Si no es así, pruebe la resistencia R12.

Pruebe el amplificador de audio aplicando a la entrada (puntilla A1) una señal de audio proveniente de un inyector o un generador. Deberá escuchar el tono en el parlante. Si no es así, revise el amplificador de audio para encontrar el componente defectuoso.

Pruebe el detector inyectando una señal modulada de 455 KHz a la puntilla C1. Puede usar el generador de FI construido en la Actividad 17. Deberá escuchar el tono de modulación en el parlante. Si no es así, revise el detector para encontrar el componente defectuoso.

Pruebe la segunda etapa de FI inyectando una señal modulada de 455 KHz a la puntilla E4 a través de un condensador de 0.01  $\mu$ F. Deberá escuchar el tono de modulación en el parlante. Si no es así, revise la etapa para encontrar el componente defectuoso.

Pruebe la primera etapa de FI inyectando una señal modulada de 455 KHz a la puntilla D4 a través de un condensador de 0.01  $\mu$ F. Deberá escuchar el tono de modulación en el parlante. Si no es así, revise la etapa para encontrar el componente defectuoso.

Pruebe el amplificador/conversor de RF inyectando una señal modulada de 455 KHz a la puntilla B2 a través de un condensador de 0.01  $\mu$ F. Deberá escuchar el tono de modulación en el parlante. Si no es así, revise la etapa para encontrar el componente defectuoso.



## Reparación de radios de FM

## Introducción

En esta lección enfocaremos el tema de la reparación de receptores de FM desde un punto de vista general y lo particularizaremos al radio FM CEKIT como aplicación práctica. La metodología seguida refuerza los principios básicos expuestos en la lección anterior.

Se asume que usted está familiarizado con los diversos aspectos teóricos y técnicos involucrados en la operación de los receptores de FM. Si no es el caso, le sugerimos repasar las lecciones relacionadas con el tema. De este modo, adquirirá una mayor seguridad en sus conocimientos.

La reparación de un aparato electrónico es una aplicación práctica y lógica de conceptos técnicos. Si usted maneja estos conceptos, dispondrá de elementos de juicio razonables para enfocar el problema y localizar el área donde se origina la falla.

Es absurdo pretender reparar un radio de FM si no sabemos cómo funciona ni podemos identificar, tanto en el plano como en el receptor mismo, sus secciones, etapas y circuitos o desconocemos la función de componentes claves como CIs, semiconductores, circuitos sintonizados, etc.

Para lograr esta solidificación de conceptos es importante refrescar, actualizar y renovar conocimientos a través del estudio y la investigación, practicados de manera asidua y disciplinada. Sin embargo, un buen reparador de radio no se forma sólo a través de la lectura.

Un reparador electrónico deja de ser un empírico y se convierte en un experto cuando consigue desarrollar, a través de la experiencia, un modo de proceder lógico y eficiente sugerido por su propio razonamiento y adquiere habilidad en el manejo de herramientas, instrumentos e información técnica.

No pretendemos que con estas dos últimas lecciones usted se convierta en un experto en la reparación de radios AM y FM. Sólo queremos orientarlo hacia la búsqueda de una metodología personal donde sus conocimientos, habilidades e interés juegan un papel muy importante.

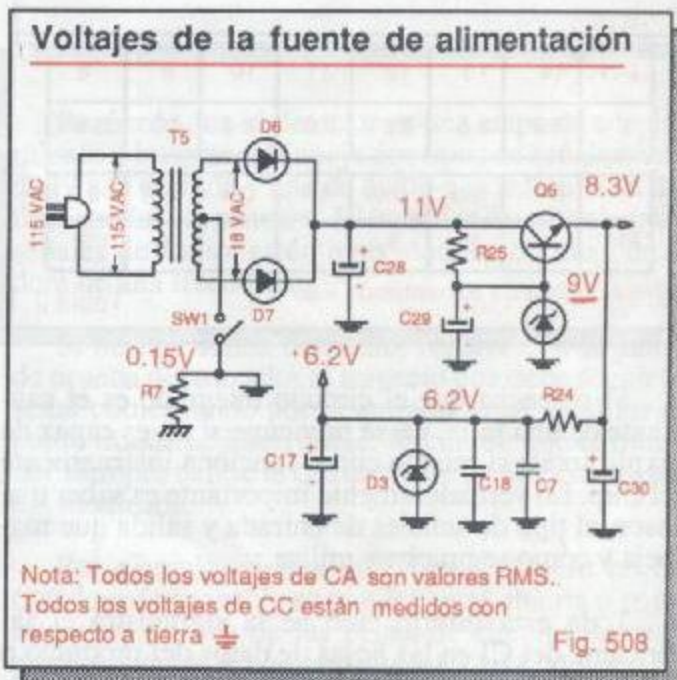
## Pruebas básicas

Antes de comenzar a buscar y analizar sistemáticamente las causas de una falla, revise primero las

cosas fáciles de reparar. De este modo, si el daño es sencillo, podrá ahorrarse tiempo y procedimientos innecesarios.

Por simple rutina, mida siempre los voltajes de CA y de CC asociados a la fuente de alimentación. Revise las tensiones de entrada, de salida y de control del transformador, del rectificador y de los reguladores de tensión. Mida también la corriente total consumida para detectar posibles cortos.

En la figura 508 se muestra el diagrama esquemático de la fuente de alimentación del radio FM CEKIT y se indican los valores típicos de voltajes AC y DC presentes en diferentes puntos del circuito en condiciones normales de funcionamiento.



De la misma forma mida los voltajes de CC asociados a todos los transistores. De este modo podrá saber si alguno de ellos está abierto o en cortocircuito o no está siendo correctamente polarizado por los circuitos externos. Un transistor mal polarizado no puede trabajar apropiadamente.

En la Tabla 2 se relacionan los voltajes de polarización típicos de los transistores de RF y FI del radio FM CEKIT. VC1-VC4 son los voltajes de reposo de colector de Q1-Q4, VB1-VB4 los voltajes de base y VE1-VE4 los de emisor. Todos estos voltajes están medidos con respecto a tierra.



	Q1	Q2	Q3	Q4
VC	7.59 V	7.59 V	7.34 V	7.16 V
VE	0.68 V	1.20 V	0.84 V	1.13 V
VB	1.34 V	1.68 V	1.53 V	1.84 V

Nota: Voltaje de alimentación = 7.75 V

Tabla 2

Mida también los voltajes de CC presentes en cada uno de los pines de los circuitos integrados utilizados en el receptor. Así podrá detectar posibles cortocircuitos internos o entre pines y evaluar si están siendo o no correctamente alimentados.

En la Tabla 3 se relacionan los valores típicos de voltaje de CC obtenidos en los pines del CI amplificador de audio LA4101 del radio FM CEKIT. Todas estas tensiones están medidas con respecto a tierra y pueden variar de acuerdo a la tolerancia de los componentes.

Pin	14	13	12	11	10	9	8
V	8.7	8.5	8.5	0.0	4.4	4.3	3.9
V	4.3	0.0	0.0	5.1	0.4	4.3	0.0
Pin	1	2	3	4	5	6	7

Nota: Voltaje de alimentación = 8.7 V

Tabla 3

Si sospecha que el circuito integrado es el causante de una falla, no se preocupe si no es capaz de explicarse a sí mismo cómo funciona internamente el chip. Lo verdaderamente importante es saber qué hace, el tipo de señales de entrada y salida que maneja y cómo se prueba y utiliza.

Toda esta información se la suministra el fabricante del CI en las hojas de datos del producto o en los manuales técnicos. Si el dispositivo no trabaja de acuerdo a estas especificaciones, es porque está defectuoso y debe reemplazarse.

Busque visualmente cables sueltos, conexiones abiertas o resistencias quemadas. Muchas veces una mala recepción se debe sólo al hecho de que el cable que va a la antena se ha desoldado, hace un contacto intermitente o está abierto.

Con el control de volumen al máximo, mueva cuidadosamente con un destornillador o un estilete no metálico resistencias, condensadores, transistores, bobinas y tanques de FI para detectar posibles soldaduras frías o roturas de los terminales.

Mueva también el condensador variable de sintonía. Si el radio ha recibido un impacto o se ha dejado caer al suelo, es posible que una de las patillas se haya desoldado del circuito impreso o esté haciendo un contacto intermitente.

Flexione suavemente la tarjeta de circuito impreso, especialmente a lo largo de los costados. Es probable que durante esta operación, el radio recupere repentinamente su funcionamiento normal, indicando que existe una conexión abierta o suelta que ha sido temporalmente restablecida.

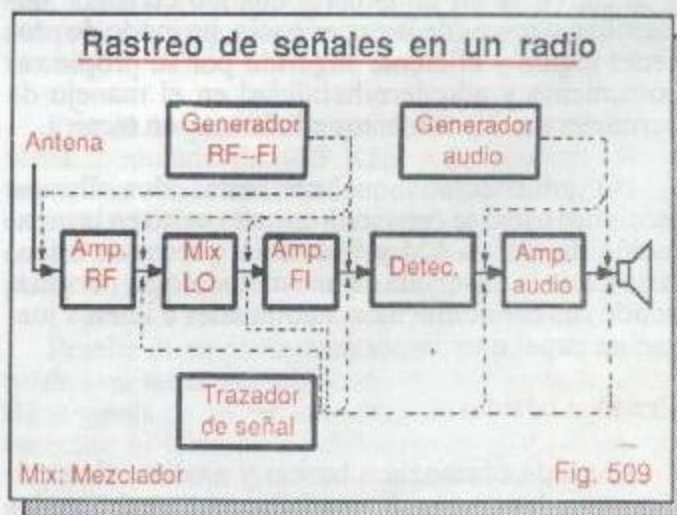
Si cuando prende el radio escucha un "click" en el parlante, será una indicación clara de que la bobina del parlante y el circuito de salida del amplificador de audio están trabajando bien. Si no lo escucha, algo anormal está pasando en esa etapa.

Toque con un dedo el terminal central o "cursor" del potenciómetro que sirve como control de volumen con este último al máximo. Si se produce un ruido en el parlante (hum), el amplificador de audio está trabajando correctamente.

Cuando estas pruebas no son suficientes para localizar la falla, debemos acudir necesariamente al uso de instrumentos como el generador de RF y el trazador de señales. El procedimiento que sigue se basa en razonamientos lógicos del tipo "si esto sucede, entonces proceda a esto" y es aplicable a la reparación de cualquier aparato electrónico.

### Puebas con generadores y trazadores de señal.

En la figura 509 se muestra la forma de utilizar un generador de RF/FI, un trazador de señales y un generador de audio para revisar el funcionamiento de un receptor. El método es aplicable tanto a radios de AM como de FM. Recuerde que en AM la FI es de 455 KHz y en FM es de 10.7 MHz.

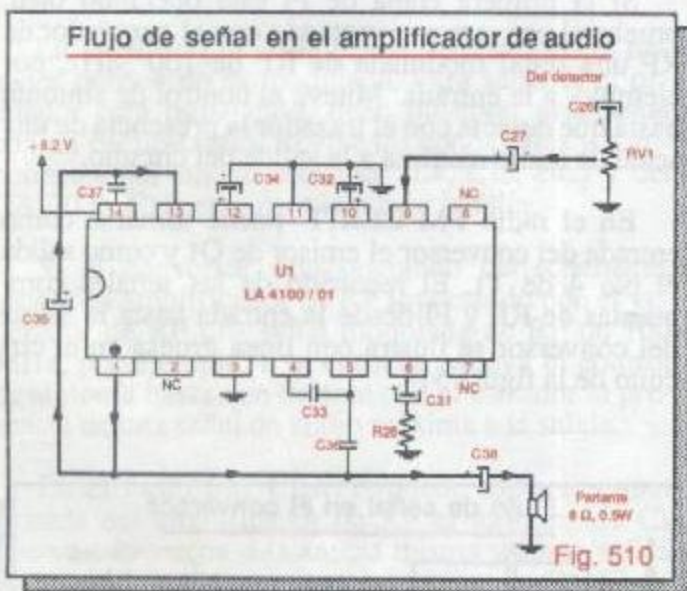




Si no posee generador de audio, puede utilizar en su lugar el inyector de señales construido en la Actividad 11. El generador de RF debe poder entregar señales de FM tanto de 10.7 MHz como de 88 a 108 MHz. El trazador de señales es un detector seguido de un amplificador de audio.

Pruebe el amplificador de audio inyectando la señal del generador de AF inicialmente al parlante y luego a la entrada del amplificador. En ambos casos deberá escuchar un tono en el parlante. Si no es así, el parlante está defectuoso o el amplificador de audio tiene una falla.

En el radio FM CEKIT, puede tomarse como entrada del amplificador de audio el terminal (-) de C26 y como salida el terminal (-) de C38. El camino recorrido por la señal de audio desde la entrada hasta la salida se ilustra con línea gruesa en el circuito de la figura 510.

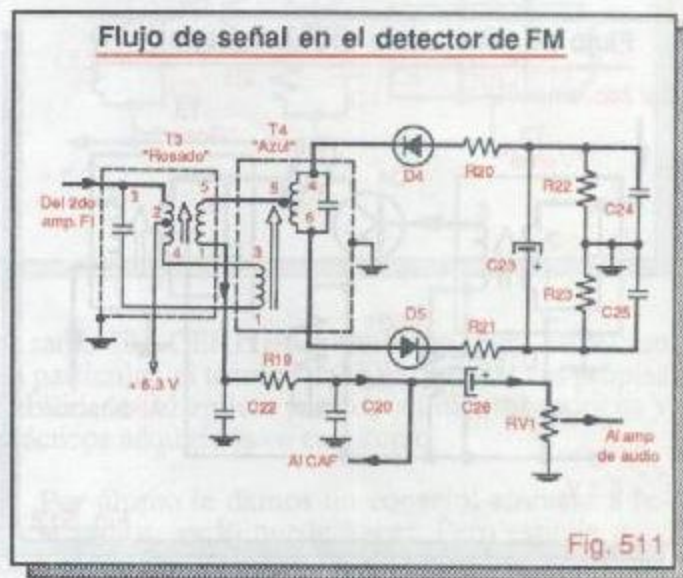


Si no hay salida de audio, recorra con la punta de prueba del trazador el trayecto que debe seguir la señal comenzando por la entrada hasta localizar el punto donde se interrumpe. Por ejemplo, si hay audio en el pin 9 de U1 pero no en el pin 1, lo más probable es que el CI esté defectuoso.

Si la señal de audio se escucha en el parlante con distorsión, revise los condensadores de realimentación C33 y C36. Si la reproducción de altas y bajas frecuencias no es uniforme, revise C31 y R26. Si hay ruido de fondo (hum), revise C32 y C34.

Si el amplificador de audio está operando correctamente, pruebe el demodulador inyectando con el generador de RF una señal modulada de FI de 10.7 MHz a la entrada. Detecte con el trazador la presencia de señal de audio a la salida del detector.

En el radio FM CEKIT, la entrada de FI del detector de relación es el pin 3 de T3. La salida se puede tomar del potenciómetro RV1. El recorrido de la señal compuesta de FI desde la entrada hasta la salida del detector se ilustra con línea gruesa en el circuito de la figura 511.



Recuerde que el detector es una etapa de acoplamiento o interface. Maneja dos tipos de señales: una de FI a la entrada y una de audio a la salida. Esta última modula la primera. El trazador detecta siempre señales de audio, estén o no modulando una portadora de alta frecuencia.

Si no hay salida de audio, recorra con la punta de prueba del trazador el trayecto que debe seguir la señal comenzando por la entrada hasta localizar el punto donde se interrumpe. Recuerde que el trazador siempre extrae la componente de audio de la señal modulada.

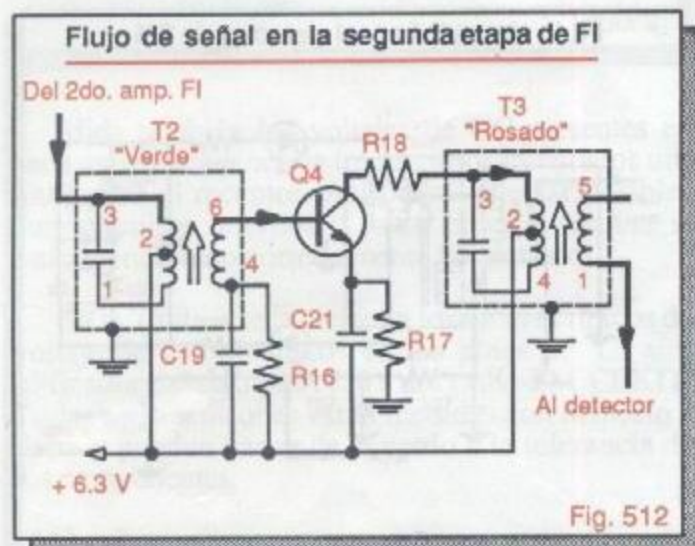
Por ejemplo, si hay audio en C22 pero no en C20, lo más probable es que R19 esté abierta o se ha interrumpido una de las pistas de circuito impreso que conectan este componente a C22 o C20.

Revise también los componentes del filtro de FI (C22, R19 y C20) cuando se presente el fenómeno de sonoridad aguda (ruidos de alta frecuencia) en la señal de audio escuchada en el parlante y los del limitador (C23, R22 y R23) cuando el volumen de esta señal no sea constante.

Si el detector de relación está operando correctamente, pruebe el segundo amplificador de FI inyectando con el generador de RF una señal modulada de FI de 10.7 MHz a la entrada. Detecte con el trazador la presencia de señal de audio a la salida del circuito.



En el radio FM CEKIT puede tomarse como entrada del segundo amplificador de FI la base de Q4 y como salida el pin 3 de T3. El recorrido de la señal compuesta de FI desde la entrada hasta la salida del amplificador se ilustra con línea gruesa en el circuito de la figura 512.



Si no hay salida de audio, recorra con la punta de prueba del trazador el trayecto que debe seguir la señal comenzando por la entrada hasta localizar el punto donde se interrumpe.

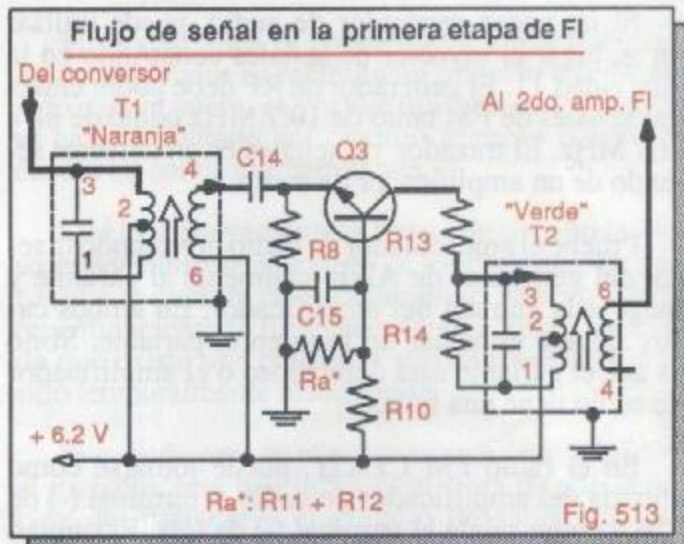
Por ejemplo, si el trazador detecta audio en la base de Q4 pero no en el colector, lo más probable es que este transistor esté defectuoso o desconectado. Puede suceder también que el circuito esté oscilando y por lo tanto ignora la señal aplicada a la entrada. En este caso, revise también R18.

Si la segunda etapa de FI está operando correctamente, pruebe la primera etapa inyectando con el generador de RF una señal modulada de FI de 10.7 MHz a la entrada. Detecte con el trazador la presencia de señal de audio a la salida del circuito.

En el radio FM CEKIT puede tomarse como entrada del primer amplificador de FI el pin 4 de T1 y como salida el pin 6 de T2. El recorrido de la señal compuesta de FI desde la entrada hasta la salida del amplificador se ilustra con línea gruesa en el circuito de la figura 513.

Si no hay señal de audio a la salida, recorra con la punta de prueba del trazador el trayecto que debe seguir la señal comenzando por la entrada hasta localizar el punto donde se interrumpe.

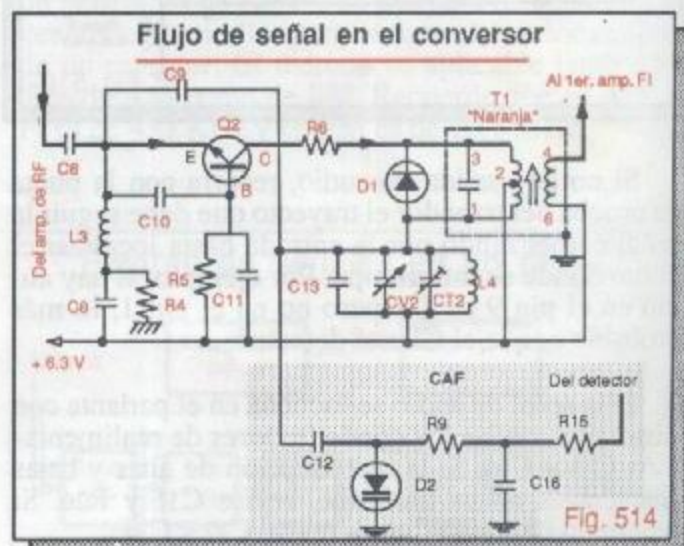
Por ejemplo, si el trazador detecta audio en el pin 3 de T2 pero no en el pin del mismo, puede estar sucediendo que este transformador está abierto



internamente o su pin 4 está desconectado y no tiene retorno a tierra a través de C19 o R16.

Si la primera etapa de FI está operando bien, pruebe el conversor inyectando con el generador de RF una señal modulada de RF de 100 MHz, por ejemplo, a la entrada. Mueva el control de sintonía hasta que detecte con el trazador la presencia de una señal de audio máxima a la salida del circuito.

En el radio FM CEKIT puede tomarse como entrada del conversor el emisor de Q1 y como salida el pin 4 de T1. El recorrido de las señales compuestas de RF y FI desde la entrada hasta la salida del conversor se ilustra con línea gruesa en el circuito de la figura 514.



Recuerde que el conversor es una etapa acopladora o de interface. Maneja tres tipos de señales: la de RF de entrada, la de FI de salida y la de LO (oscilador local) de control. Las dos primeras son



moduladas y por lo tanto llevan señal de audio. La señal LO no debe contener modulación.

Si no hay señal de audio a la salida, recorra con la punta de prueba del trazador el trayecto que debe seguir la señal comenzando por la entrada hasta localizar el punto donde se interrumpe. No olvide mover el control de sintonía hasta localizar el punto donde se produce la FI de 10.7 MHz.

Por ejemplo, si el trazador detecta audio en el emisor de Q2 pero no en el colector, puede ser porque este transistor está defectuoso o se ha interrumpido la conexión con R6 o está abierto el primario de T1, entre otras posibilidades.

Si el trazador detecta audio a la salida del conversor pero la señal no se escucha en el parlante a pesar de que todas las demás etapas subsiguientes están operando correctamente, lo más probable es que el oscilador local está trabajando erráticamente o el transformador T1 está desintonizado.

La señal de LO no la puede detectar con el trazador porque no es modulada. Para saber si el oscilador está trabajando, debe observar esta señal con un osciloscopio. Revise las conexiones y componentes del tanque oscilador (L4, C13, etc.) y del CAF (D2, C12, etc.) para localizar la falla.

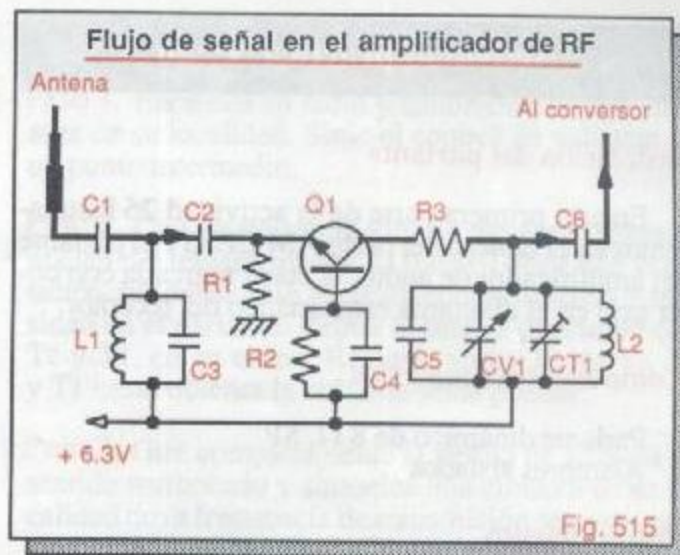
Si el conversor está operando correctamente, pruebe el amplificador de RF inyectando con el generador de RF una señal modulada de RF de 100 MHz, por ejemplo, a la entrada. Mueva el control de sintonía hasta que detecte con el trazador la presencia de una señal de audio máxima a la salida.

En el radio FM CEKIT puede tomarse como entrada del amplificador de RF el terminal de C1 que va a la antena o la antena misma y como salida el terminal de C6 conectado al emisor de Q2. El recorrido de la señal compuesta de RF desde la entrada hasta la salida del amplificador de RF se ilustra con línea gruesa en el circuito de la figura 515.

Si no hay audio en la señal de RF de salida, recorra con la punta de prueba del trazador el trayecto que debe seguir la señal comenzando por la entrada hasta localizar el punto donde se interrumpe. No olvide mover el control de sintonía hasta encontrar el punto de máxima ganancia de RF.

Por ejemplo, si el trazador detecta audio en el punto de unión de C1 y C2 pero no en el emisor de Q1, es probable que C2 esté abierto o desconectado o que R1 esté en cortocircuito.

Con estas instrucciones creemos que hemos dado una guía suficiente para emprender nuestras primeras reparaciones. Hemos utilizado como modelo



el radio FM CEKIT. Sin embargo, para cada caso en particular, el técnico debe desarrollar sus propias habilidades al aplicar los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en este curso.

Por último le damos un consejo: atreva a reparar radios, ya lo puede hacer. Pero estudie muy bien el aparato y realice los procesos técnicamente. Antes de actuar, planee mentalmente cada paso.

Si después de intentar una reparación por un buen tiempo tiene la sensación de que no puede hacerla o no se consigue un determinado componente o repuesto, devuelva el aparato a su dueño y sea sincero con él: dígame que usted no está en capacidad de repararlo. No prometa que lo hará mañana, la próxima semana o el próximo mes. Tal vez nunca pueda hacerlo.

Una regla de oro que se debe seguir es que si no logra reparar algo en un tiempo prudencial, es mejor renunciar a ese trabajo e iniciar rápidamente otro en el cual pueda lograr una reparación exitosa.

Es necesario resaltar la importancia de los instrumentos de prueba y de medida que debe usted tener en su laboratorio. A lo largo de este curso hemos aprendido a manejar el multímetro, el osciloscopio, el generador de audio, el generador de RF y otros aparatos y sabemos de su utilidad.

También debe disponer de herramientas básicas de trabajo como pinzas, cortafíos, caudín y destornilladores tanto metálicos como plásticos. Estos últimos son imprescindibles para ajustar los núcleos de ferrita de las bobinas de alta frecuencia utilizadas en los receptores de radio.

Debe también poseer un buen stock de componentes de emergencia como resistencias y condensadores de varios valores.



## Instalación del parlante

En esta primera parte de la actividad 26 instalaremos en el tablero del radio AM CEKIT el parlante del amplificador de audio, la etapa marcada con color azul en el diagrama esquemático del receptor.

## Componentes necesarios

- 1 Parlante dinámico de 8  $\Omega$ . SP
- 2 Alambres aislados

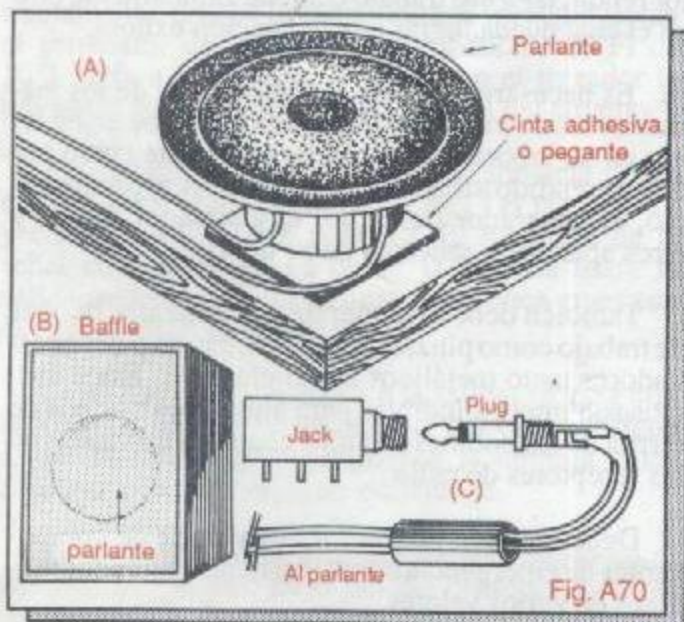
## Procedimiento

**Paso 1.** Tome el primer alambre aislado. Suelde un extremo a la puntilla A30 y el otro extremo a uno de los bornes del parlante.

**Paso 2.** Tome el segundo alambre aislado. Suelde un extremo a la puntilla A31 y el otro extremo al borne restante del parlante.

**Paso 3.** Asegure el parlante a la tabla de montaje como se muestra en la figura A70-A. Puede utilizar cinta adhesiva de doble faz o pegante sintético. La calidad del sonido mejora notablemente si monta el parlante en un baffle o caja acústica similar a la mostrada en la figura A70-B.

Si se decide por utilizar el parlante externamente, no necesita conectarlo a las puntillas A30 y A31. Puede utilizar el jack del audífono, conectando el parlante a un plug monofónico como se muestra en la figura 70-C.



## Alineamiento del radio con generador de RF

Se describe a continuación la forma de calibrar el radio AM CEKIT utilizando únicamente un generador de RF. Alinearemos los transformadores de FI (T3, T2 y T1), las bobina osciladora (L2), la bobina de antena (L1) y el bloque de sintonía (CV1, CV2, CT1, CT2).

**Nota:** Si realizó la Actividad 25 hasta el final y su radio ya está calibrado, no necesita efectuar estas pruebas. Sólo reajuste ligeramente, en su orden, los tornillos de CT1 y CT2 y los núcleos de L1 y L2 para que los extremos de 1600 y 530 KHz de su dial coincidan con los de un radio de AM en servicio.

Si no posee amplificador de RF, puede utilizar el generador de FI construido en la actividad 17 como fuente de señal modulada de 455 KHz.

**Paso 1.** Conecte la batería al radio y enciéndalo. Sitúe el control de volumen en su punto medio.

**Paso 2.** Programe el generador de RF para producir una señal AM de 455 KHz. Conecte el caimán negro a tierra e inyecte la señal de RF a la base de Q3 (puntilla E4) con un condensador de 0.01  $\mu$ F.

**Paso 3.** Ajuste el núcleo del transformador T3 (negro) con un destornillador plástico hasta que la intensidad del tono de modulación escuchado en el parlante sea máxima. Desconecte el generador de RF de la base de Q3.

**Paso 4.** Inyecte la señal de RF de 455 KHz a la base de Q2 a través del condensador de 0.01  $\mu$ F. Ajuste el núcleo del transformador T2 (blanco) hasta que el tono escuchado en el parlante sea máximo. Desconecte la sonda del generador de RF de la base de Q2 y el caimán negro de la puntilla de tierra.

**Paso 5.** Inhabilite el oscilador local desconectando el condensador C2 de la puntilla B6. Desconecte también el alambre rosado de la bobina de antena del terminal "A" del condensador variable.

**Paso 6.** Conecte el caimán negro del generador de RF a la sonda de prueba del mismo formando un bucle. Sitúe este bucle cerca de la bobina de antena (L1) para acoplar por inducción la señal modulada de RF de 455 KHz al radio.

**Paso 7.** Sitúe el control de amplitud del generador de RF al máximo. Deberá escuchar el tono de modulación en el parlante. Ajuste el núcleo del transformador T1 (amarillo) hasta que el tono escuchado en el parlante sea máximo.

**Paso 8.** Reajuste los transformadores T3, T2 y T1, en ese orden, hasta lograr, con cada uno, el máxi-



mo volumen posible. Una vez obtenido el punto óptimo de ajuste, inmovilice los núcleos con parafina derretida o similar.

**Paso 9.** Conecte nuevamente el alambre rosado de la bobina de antena al terminal "A" del condensador variable y el condensador C2 a la puntilla B6.

**Paso 10.** Gire completamente la perilla de sintonía del receptor en sentido antihorario (CCW). Programe el generador de RF para producir una señal AM de 530 KHz. Acerque el bucle de RF a la bobina de antena. Deberá escuchar el tono de modulación en el parlante.

**Paso 11.** Ajuste el núcleo de la bobina L2 (roja) hasta que el tono escuchado en el parlante sea de amplitud máxima. Una vez obtenido el punto de ajuste óptimo, inmovilice el núcleo de L2 con parafina derretida.

**Paso 12.** Ajuste la posición de la bobina de antena (L1) en su núcleo desplazándola lentamente hacia adelante y hacia atrás hasta que el tono escuchado sea máximo. Una vez obtenido el punto de ajuste, solidarice la bobina al núcleo con parafina derretida.

**Paso 13.** Gire completamente la perilla de sintonía del receptor en sentido horario (CW). Programe el generador de RF para producir una señal AM de 1600 KHz. Acerque el bucle de RF a la bobina de antena. Deberá escuchar el tono de modulación en el parlante.

**Paso 13.** Ajuste el tornillo del condensador trimmer CT2 hasta que el tono escuchado en el parlante alcance su máxima intensidad. Una vez obtenido el punto óptimo de ajuste de CT2, realice la misma operación con el trimmer CT1 hasta que el tono sea máximo.

## Alineamiento del radio sin equipo de prueba

**Paso 1.** Encienda su radio y sintonícelo en una emisora de su localidad. Sitúe el control de volumen en un punto intermedio.

**Paso 2.** Con un destornillador no metálico, ajuste el núcleo del transformador T3 (negro) hasta que la estación sintonizada se escuche con la máxima intensidad en el parlante. Repita la misma operación con T2 y T1, en su orden. Reajuste varias veces T3, T2 y T1 hasta obtener la máxima señal posible.

**Paso 3.** Gire completamente la perilla de sintonía en sentido antihorario y sintonice una emisora de su localidad cuya frecuencia de transmisión sea muy próxima a 530 KHz. Ajuste el núcleo de las bobinas osciladora (L2, roja) y de antena (L1) hasta que la señal captada sea máxima.

**Paso 4.** Gire completamente la perilla de sintonía en sentido antihorario y sintonice una emisora de su localidad cuya frecuencia de transmisión sea muy próxima a 1600 KHz. Ajuste los tornillos de CT1 y CT2 hasta que la señal captada sea máxima. De este modo habrá completado la calibración de su radio.

## Voltajes de polarización del radio AM CEKIT

Una forma práctica y segura para diagnosticar si uno de los transistores del radio es el causante de una falla determinada es medir sus voltajes de polarización de la base, el colector y el emisor. Un transistor mal polarizado no puede realizar adecuadamente su función amplificadora o de otro tipo.

En la figura A71 se muestran los valores típicos de voltajes de CC presentes en diferentes puntos del radio AM CEKIT. Todas estas tensiones están medidas con respecto a tierra.

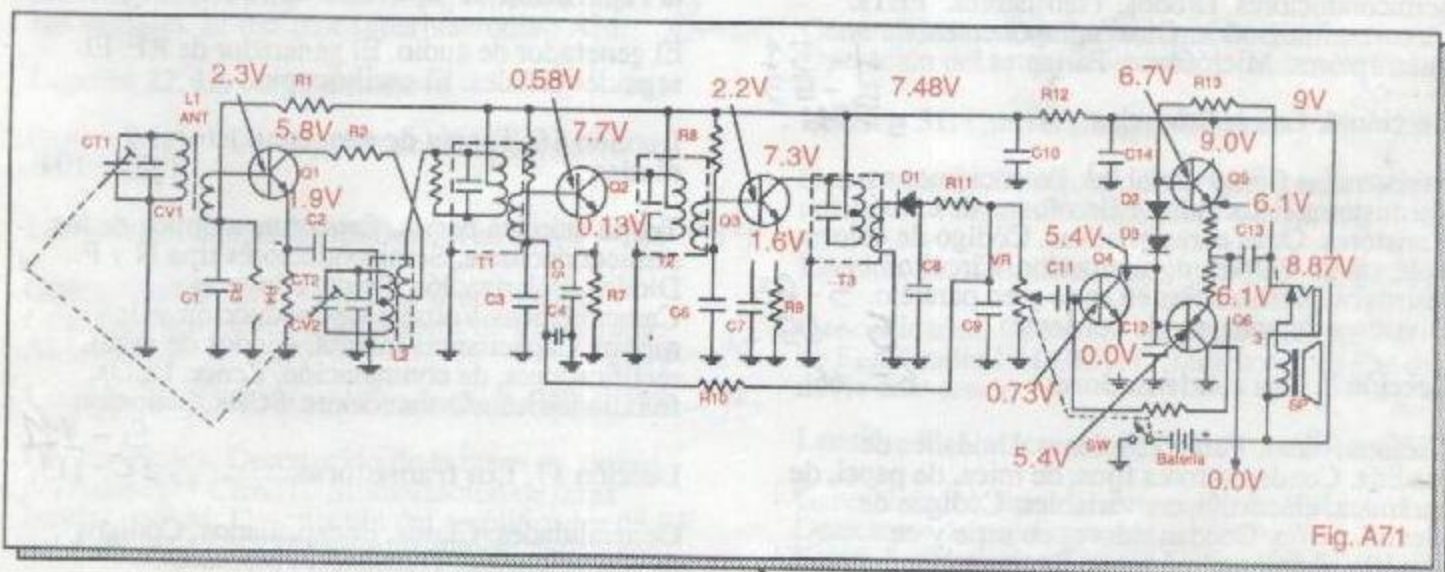


Fig. A71



# INDICE GENERAL DEL CURSO DE RADIO AM Y FM

## INDICE DE LECCIONES

<b>Prólogo</b>	<b>7 - 6</b>	<b>Lección 8. Las bobinas</b>	<b>6 - 75</b>
<b>Introducción. Teoría básica de Radio</b>	<b>1 - 9-16</b>	Inductancia. Magnetismo. Imanes. Materiales magnéticos y diamagnéticos. Electromagnetismo. Bobinas. Núcleos. Producción de electricidad por medios magnéticos. Inducción magnética. Circuitos inductivos. Comportamiento de una bobina con CC y CA. Relaciones de fase. Bobinas de núcleo de hierro, aire, ferrita y variables. Bobinas en serie y en paralelo. Construcción de bobinas.	<b>6-76</b> <b>7-81</b>
Radio. Radiocomunicación. Ondas. Historia de la radio. Ondas de radio. Tipos de ondas. Transmisión y recepción de ondas de radio. Componentes utilizados en los aparatos de radio.		<b>Lección 9. Los transformadores</b>	<b>7-82</b>
<b>Lección 1. La materia y los electrones</b>	<b>2-17-28</b>	Elementos. Funcionamiento. Transformadores de RF, de audio y de potencia.	
Materia. Elementos. Moléculas. Átomos. Cargas. Teoría Atómica. Electricidad. Conductores, aislantes y semiconductores.		<b>Lección 10. La impedancia</b>	<b>7-84</b>
<b>Lección 2. Circuitos y Ley de Ohm</b>	<b>2-22</b>	Generalidades. Impedancia de circuitos RL, RC, RLC serie y RLC paralelo.	
Corriente, voltaje, resistencia y potencia. Circuitos. Aplicaciones de la Ley de Ohm. Formas de la corriente eléctrica.		<b>Lección 11. Los filtros</b>	<b>7-86</b>
<b>Lección 3. Corriente Continua (CC ó DC)</b>	<b>2-23-28</b>	Generalidades. Filtros pasabajos, pasaaltos, pasabanda y de rechazo de banda.	
Generalidades. Usos. Métodos de producción. Fuentes de poder. Pilas y baterías. Pilas secas, alcalinas, de mercurio, de níquel - cadmio y solares. Acumuladores. Conexiones en serie y paralelo de pilas.	<b>3-29</b>	<b>Lección 12. Resonancia</b>	<b>7-88</b>
<b>Lección 4. Corriente alterna (CA o AC)</b>	<b>3-35-40</b>	Resonancia serie y paralelo. Cálculo.	<b>8-89</b>
Características. Formas de onda. Ruido. Valores pico, pico a pico, RMS y promedio de un voltaje alterno. Concepto de Amplitud. Ciclo. Frecuencia. Período. Relación de fase. Armónicos	<b>3-44</b>	<b>Lección 13. Los instrumentos de medida</b>	<b>8-90</b>
<b>Lección 5. Los componentes electrónicos</b>	<b>4-45</b>	Generalidades. Instrumentos de bobina móvil.	
Componentes pasivos. Resistencias. Condensadores. Bobinas. Transformadores. Semiconductores. Diodos. Transistores. FETs. Circuitos integrados. Otros componentes. Interruptores. Micrófonos. Parlantes.	<b>4-51</b> <b>5-53</b>	<b>Lección 14. El multímetro electrónico</b>	<b>8-93</b>
<b>Lección 6. Las resistencias</b>	<b>5-54</b>	Generalidades. Cómo medir corriente, voltaje y resistencia. Manejo. Instrumentos digitales.	
Resistencias fijas y variables. Potenciómetros. Termistores. Fotoceldas. Micrófonos de carbón. Varistores. Otras características. Código de colores. Tolerancia. Valores normalizados. Circuitos resistivos. Resistencias en serie y en paralelo. Divisores de voltaje y de corriente.	<b>5-63</b> <b>6-65</b>	<b>Lección 15. Instrumentos para el ajuste y la reparación de aparatos de radio</b>	<b>9-101</b>
<b>Lección 7. Los condensadores</b>	<b>6-66</b>	El generador de audio. El generador de RF. El seguidor señales. El osciloscopio.	
Características. Funcionamiento. Unidades de medida. Condensadores fijos, de mica, de papel, de cerámica, electrolíticos, variables. Códigos de identificación. Condensadores en serie y en paralelo. Aspectos prácticos. Reactancia.		<b>Lección 16. Teoría de semiconductores y diodos</b>	<b>9-104</b>
		Teoría atómica básica. Estructura atómica de los semiconductores. Semiconductores tipo N y P. Diodos. Polarización directa e inversa. Características. Voltajes de conducción y de ruptura. Capacitancia interna. Diodos de señal, rectificadores, de conmutación, Zener, LEDs, fotodiodos, túnel, varactores, SCRs, Schottky.	<b>9-111</b> <b>10-113</b>
		<b>Lección 17. Los transistores</b>	
		Generalidades. Clases. Encapsulados. Códigos de identificación. Transistores bipolares.	



Características. Transistores NPN y PNP. El transistor como amplificador. Circuitos base común, emisor común y colector común. Parámetros alfa y beta. Prueba de transistores bipolares. Transistores FET. Transconductancia. Transistores MOSFET. Protección contra ESD. Modos de agotamiento y realce. Los FET y MOSFET como amplificadores. Circuitos de compuerta común, fuente común y drenador común.

## Lección 18. Amplificadores de audio 11-125

Generalidades. Características. Ganancia. Impedancia de entrada y de salida. Respuesta de frecuencia y ancho de banda. Amplificadores de voltaje, de corriente y de potencia. Amplificadores de audio y de RF. Amplificadores de señal pequeña y de señal grande. Rendimiento de un amplificador de potencia. Amplificadores de potencia push-pull. Clases de operación A, B, AB y C. Amplificadores realimentados. Importancia de la realimentación negativa. Descripción del amplificador de audio del radio AM CEKIT.

## Lección 19. Cómo se produce la señal de una emisora de radio

Estructura general de una emisora. Fuentes de señales de audio. Micrófonos, tocadiscos y grabadoras. Fuentes de señales de RF. Osciladores Hartley, Colpitts y a cristal. Modulación de amplitud (AM) y de frecuencia (FM). Amplificación de la señal modulada de RF.

## Lección 20. Receptores de radio

Generalidades. Receptores sencillos. Sistemas de antena y de tierra. Construcción de bobinas de antena. Características generales. Selectividad. Sensibilidad. Figura de ruido. Estabilidad. Fidelidad. Rango dinámico.

## Lección 21. El receptor superheterodino

Generalidades. Heterodinación y FI. Frecuencias intermedias en AM y FM. La superheterodinación y sus ventajas. El receptor superheterodino AM.

## Lección 22. La etapa detectora

Generalidades. Descripción del detector del radio AM CEKIT.

## Lección 23. Etapas amplificadoras de FI

Generalidades. Amplificadores sintonizados. Descripción de los amplificadores de FI del radio AM CEKIT.

## Lección 24. Etapa amplificadora de RF

Generalidades. Descripción de la etapa de antena del radio AM CEKIT. Sintonización de otras bandas de AM. Descripción del amplificador de RF del radio AM CEKIT. Amplificadores de RF con

FET. Amplificadores de RF en cascada. Sintonización sincrónica y escalonada de amplificadores de RF. Neutralización de amplificadores de RF.

## Lección 25. Circuitos osciladores

Osciladores Colpitts, Clapp y Hartley. Descripción del oscilador local del radio AM CEKIT. Importancia de la estabilidad de frecuencia en los osciladores de RF. Osciladores a cristal. VXOs y VFOs. Sintetizadores heterodinos de frecuencia. VCOs y PLLs.

## Lección 26. Mezcladores de RF

Generalidades. Mezcladores de transmisión y recepción. Descripción del convertidor de RF del radio AM-CEKIT. Características. Mezcladores con transistores y FETs.

## Lección 27. Control Automático de Ganancia (CAG)

Generalidades. Descripción del CAG del radio AM-CEKIT. Filtrado de la tensión de CAG.

## Lección 28. Descripción general del receptor de AM CEKIT

Transmisión y recepción. Los circuitos del receptor AM CEKIT. Sintonizador. Amplificador/Convertidor de RF. Primer y segundo amplificador de FI. Detector. CAG. Amplificador de audio. Filtro de RF. Diagrama esquemático general.

## Lección 29. El sistema de FM

Generalidades. Orígenes. Ventajas y desventajas. Fundamentos. Bandas laterales, índice de modulación y ancho de banda. Métodos de modulación de frecuencia. Transmisores y receptores de FM. El sistema FM estéreo.

## Lección 30. Amplificadores de RF

Generalidades. Consideraciones de diseño. Operación del amplificador de RF del radio FM.

## Lección 31. Conversores de FI para FM

Generalidades. Operación del convertidor de FI del radio FM. Frecuencias imágenes y espúreas.

## Lección 32. Amplificadores de FI

Generalidades. Operación de los amplificadores de FI del radio FM CEKIT. Receptores de FM de doble conversión.

## Lección 33. Detectores de FM

Generalidades. Tipos de detectores de FM. Detectores de pendiente, balanceados, de Foster-Seeley y de relación. El detector de relación



como limitador de amplitud. Descripción del detector de relación del radio FM-CEKIT. Otros diseños. Demoduladores de FM con PLL 22-265

### Lección 34. Control Automático de Frecuencia (CAF) 22-266

Generalidades. Operación del circuito de CAF del radio FM-CEKIT. 22-268

### Lección 35. Operación completa y ensamble del Radio FM CEKIT 23-269

Generalidades. El receptor en bloques y en detalle. Ensamble. Fuente de alimentación. Amplificador de audio. Detector de relación. Amplificadores de FI. Conversor de FI y CAF. Amplificador de RF. 23-280

### Lección 36. Fuentes de poder para radios AM y FM 24-281

Generalidades. Fuentes de poder no reguladas. Transformador de potencia. Rectificadores. Filtros. Variación del voltaje de salida en fuentes no reguladas. Fuentes reguladas. Reguladores con diodos zener y transistores. Circuitos integrados reguladores de voltaje.

### Lección 37. Los circuitos integrados 24-289

Generalidades. Clasificación. Ventajas y limitaciones. Fabricación. El amplificador operacional.

### Lección 38. Circuitos amplificadores de audio para radios AM y FM con CI 301-25

Generalidades. Descripción de los circuitos integrados LM380, LM386, LM384, LM383, LM377 y LM378. Aplicaciones típicas. 304-25

### Lección 39. Otros CI para AM y FM 305-26

Generalidades. Receptor de AM ZN414Z y otros. Receptor de FM TDA7000 y otros. Receptor de AM/FM LM1868 y otros. Fundamentos de la recepción de FM estéreo. Demodulador de FM estéreo CA3090 y otros.

### Lección 40. Reparación de radios AM 324-27

Generalidades. Metodología y procedimientos de reparación. Identificación de secciones, etapas, circuitos y componentes. Diagnóstico, localización, aislamiento y sustitución de fallas. Reparación de radios AM. Fallas típicas y correcciones.

### Lección 41. Reparación de radios FM. 28-331

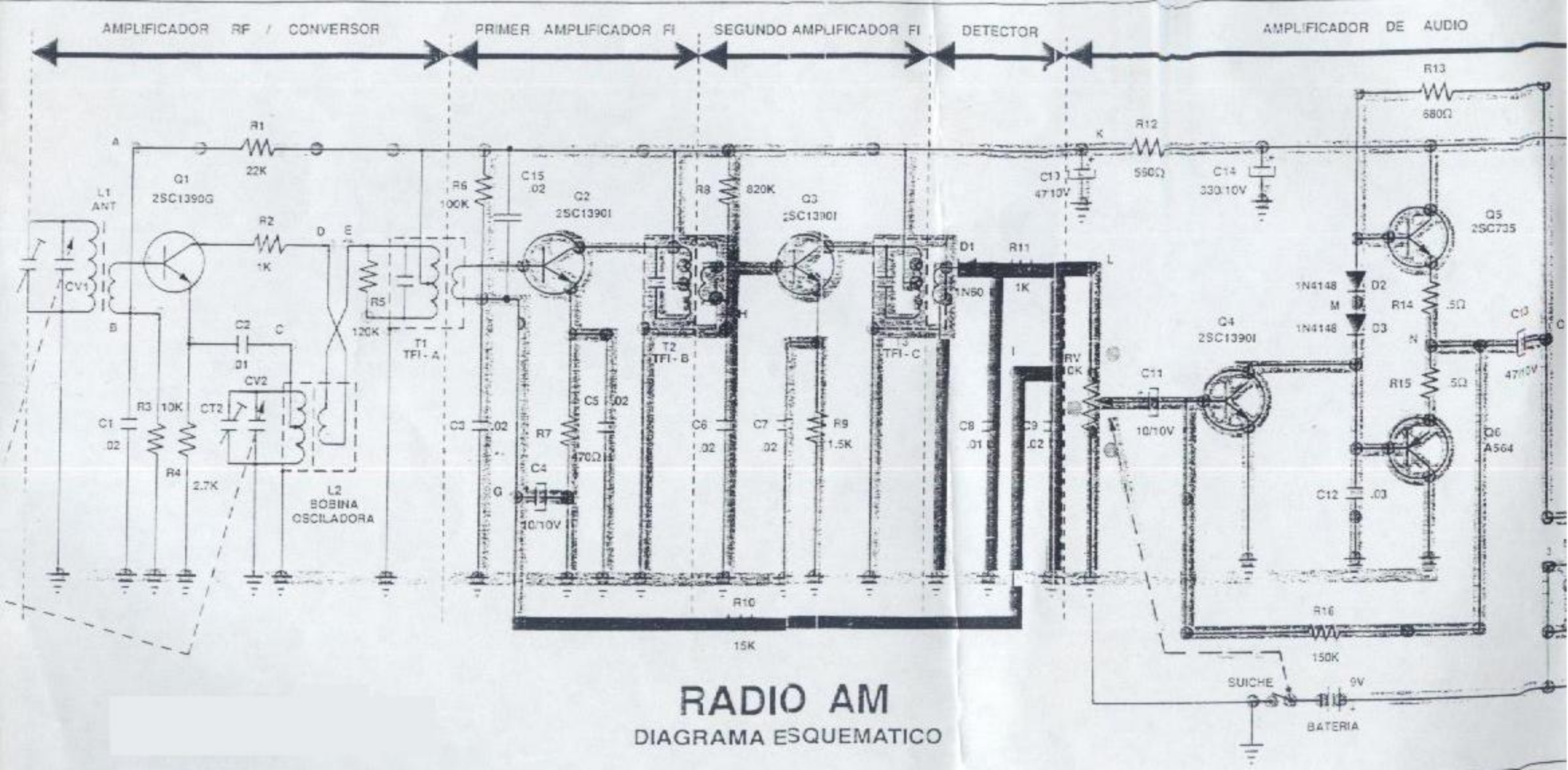
Generalidades. Pruebas básicas. Pruebas con generadores y trazadores de señal.

### Índice general del Curso 338

## ÍNDICE DE ACTIVIDADES PRÁCTICAS T

Nº 1. Fijación del plano de montaje.	16-1
Nº 2. Instalación de las puntillas de soporte.	28-2
Nº 3. Aprendiendo a soldar.	40-3
Nº 4. Alambrando el circuito de potencia.	52-4
Nº 5. Instalación de R12, R13, R14 y R15.	64-5
Nº 6. Instalación de C11, C12, C13 y C14.	76-6
Nº 7. Instalación de D2 y D3.	100-8
Nº 8. Completando las conexiones del amplificador de audio.	112-9
Nº 9. Instalación de Q4, Q5 y Q6.	124-10
Nº 10. Ensamble de un inyector de señales.	136-11
Nº 11. Manejo del generador de audio.	148-12
Nº 12. Manejo del osciloscopio.	158-13 160-13
Nº 13. Ensamble final y análisis general del amplificador de audio. 173-15-	167-14 172-14
Nº 14. Instalación de C8, C9, R11 y D1. Prueba del detector. Instalación de C10.	196-16 208-17
Nº 15. Armandó un radio de galena.	217-18
Nº 16. Instalación de Q3 y R10. Instalación de R8, R9, C6 y C7	232-19 233-20
Nº 17. Ensamble de un generador de FI.	233-20
Nº 18. Instalación de R7, C4 y C5. Instalación de Q2, R6 y C3	256-21 268-22
Nº 19. Instalación de R1, R2, R3, R4 y R5. Instalación de C1, C2 y Q1	280-23 292-24
Nº 20. Análisis, prueba y ajuste de la segunda etapa de FI. Instalación de T3.	293-25
Nº 21. Análisis, prueba y ajuste de la primera etapa de FI. Instalación de T2.	298-25
Nº 22. Instalación de L2 y T1.	316-26
Nº 23. Instalación de L1, CV1, CV2, CT1 y CT2.	317-27
Nº 24. Manejo del generador de RF.	317-27
Nº 25. Análisis y prueba del conversor de RF. 27-319-2	319-28
Nº 26. Instalación del parlante. Alineamiento final del radio.	336-28







AMPLIFICADOR RF / CONVERSOR

PRIMER AMPLIFICADOR FI

SEGUNDO AMPLIFICADOR FI

